

*На правах рукописи*

**ШИНДЯПИН Дмитрий Алексеевич**

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

05.11.13 – Приборы и методы контроля  
природной среды, веществ, материалов и изделий

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тамбов 2002

Работа выполнена на кафедрах "Автоматизированные системы и приборы" и "Криминалистика и информатизация правовой деятельности" Тамбовского государственного технического университета.

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

доктор технических наук,  
профессор

**Чернышов Владимир Николаевич**

**НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:**

доктор технических наук,  
доцент

**Чернышова Татьяна Ивановна**

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:**

доктор технических наук,  
профессор

**Беляев Павел Серафимович**

кандидат технических наук,  
доцент

**Суслин Михаил Алексеевич**

**ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:**

АООТ НИИ "Электромера",  
г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2002 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу:

392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, Большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2002 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А. А. Чуриков

Подписано в печать 25.11.2002.

Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.: 0,9 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 732

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Метрологическая надежность, являющаяся характеристикой качества средств измерений (СИ), определяет их свойство сохранять во времени метрологические характеристики в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях использования, техническом обслуживании, хранении и транспортировании. Следовательно, метрологическая надежность определяется характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик СИ.

В настоящее время среди различных групп СИ, наиболее эффективно используемых в промышленности в качестве измерительно-вычислительных средств, широкое применение получили средства неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) материалов, характеризующиеся разнообразием выполняемых функций, экономичностью и позволяющие реализовывать достаточно сложные алгоритмы измерения. Алгоритмическая, структурная и конструктивная сложность средств, реализующих методы НК ТФС материалов, ставит актуальным вопрос обеспечения необходимого уровня их метрологической надежности.

Для средств НК ТФС материалов наиболее значимым показателем метрологической надежности является метрологический ресурс, оцениваемый временем пересечения реализаций нестационарного случайного процесса изменения во времени метрологической характеристики границ поля допуска.

Как показывают теоретические и практические исследования, наиболее ответственными для средств НК ТФС материалов в метрологическом отношении являются аналоговые блоки, входящие в состав измерительных каналов и выполняющие различные функции преобразования измеряемой величины. Преобладание для таких блоков в общем потоке отказов постепенных метрологических отказов, определяемых только при проведении метрологических проверок и вызванных постепенным изменением, а в конечном итоге, выходом за допуск метрологических характеристик, выдвигают на первый план вопрос оценки метрологической надежности аналоговых блоков и средств НК в целом. Кроме того, усложнение средств НК и выполняемых ими функций, а также необходимость модернизации используемой элементной базы, ставят актуальной задачу разработки методов повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов.

Температура является фактором, определяющим процесс старения СИ в целом, так как в зависимости от нее в той или иной степени меняется скорость большинства процессов, протекающих в материалах и деталях приборов. Известно, что при повышении температуры от 20 до 40 °С скорость старения СИ возрастает в 1,4 – 1,6 раза. Поэтому именно температура окружающей среды является доминирующим внешним фактором, определяющим показатели метрологической надежности.

Разработка методов оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом схемотехнического и теплового взаимного влияния элементной базы, а также изменения температуры окружающей среды является актуальной задачей, решение которой позволит потребителю более точно определить метрологическую надежность в любой момент времени их эксплуатации в реальных условиях, правильно выбрать сроки проверок и профилактических работ, принять меры по предупреждению отказов, и в целом, повысить уровень метрологической надежности проектируемых средств НК ТФС материалов.

**Связь с государственными программами и НИР.** Диссертационная работа выполнялась в рамках реализации следующих государственных программ: программы Минвуза РФ "Комплексные системы измерений, контроля и испытаний в народном хозяйстве" на 1998 – 2000 гг.; программы министерства образования РФ "Иновации высшей школы и введение интеллектуальной собственности в хозяйственный оборот", раздел "Иновационные научно-технические проекты" на 2000 г.; программы Минпромнауки РФ по финансированию научных исследований и экспериментальных разработок на возвратной основе, проект "Создание микропроцессорных приборов оперативного неразрушающего контроля термосопротивления многослойных строительных конструкций с пенополи-уретановыми теплозащитными покрытиями", шифр "Теплогидрощит" на 2001 – 2002 гг.

**Предмет исследований.** Методы оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы и температуры окружающей среды, обобщенная методика оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом схемотехнического и теплового взаимного влияния элементной базы, проведение экспериментальных исследований разработанных методов и методики.

**Цель работы** заключается в исследовании вопросов оценки и повышения метрологической надежности средств НК, разработке методов повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы на основе математического моделирования процессов изменения во времени их метрологических характеристик, и в конечном итоге, – методики оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом теплового взаимного влияния элементной базы и температуры окружающей среды.

Достижение поставленной цели связано с необходимостью решения следующих задач.

- 1 Разработка метода повышения метрологической надежности аналоговых блоков средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы.
- 2 Разработка метода повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом теплового взаимного влияния элементной базы.

3 Разработка обобщенной методики оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом схмотехнического и теплового взаимного влияния элементной базы.

4 Проведение экспериментальных исследований основных теоретических положений и рекомендаций методики оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы.

**Методы и методики исследования** базируются на использовании теории вероятностей и математической статистики, теплообмена в радиоэлектронных средствах, методах экстраполяции и интерполяции, статистического моделирования, а также результатов выполнения научно-исследовательских работ на базе кафедр "Автоматизированные системы и приборы" и "Криминалистика и информатизация правовой деятельности" Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) и межвузовской лаборатории "Теплофизические измерения и приборы", регионального отделения "Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД)", а также ряда промышленных и научно-исследовательских организаций.

**Научная новизна** заключается в разработке методов повышения метрологической надежности аналоговых блоков средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы и воздействия температуры окружающей среды, основанных на моделировании нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик блоков средств НК ТФС материалов с использованием статистических данных о процессах изменения во времени параметров комплекующих эти блоки элементов, представленных нелинейными функциональными зависимостями.

На основе предложенных методов разработана обобщенная методика оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом схмотехнического и теплового взаимного влияния элементной базы, позволяющая оценить метрологический ресурс аналоговых блоков средств НК ТФС материалов, дать рекомендации по повышению метрологического ресурса исследуемых блоков соответствующей заменой элементной базы. Разработанная методика позволяет повысить не менее чем на 20 – 25 % метрологическую надежность средств НК ТФС материалов в целом.

**Практическая ценность** результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующем:

- на основе предложенных методов, один из которых защищен патентом РФ на изобретение, разработана обобщенная методика оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы;
- разработанная обобщенная методика внедрена в практику проектирования средств НК ТФС материалов.

**Лучный вклад автора.** Во всех работах, опубликованных в соавторстве, при непосредственном участии автора были разработаны основные идеи метода, получены аналитические выражения и теоретические результаты, проведены теоретические и практические исследования, доказывающие достоверность теоретических положений обобщенной методики оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы и эффективность разработанной методики.

**Апробация работы.** Основные научные и практические результаты исследований по теме диссертаций докладывались на V научной конференции ТГТУ (Тамбов, 2000 г.), Международной научно-технической конференции "Проектирование и эксплуатация электронных средств" (Казань, 2000 г.), IV Международной теплофизической школе "Теплофизические измерения в начале XXI века" (Тамбов, 2001 г.), VI и VII научных конференциях ТГТУ (Тамбов, 2001, 2002 г.), XV Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях" (Тамбов, 2002 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, на метод повышения метрологической надежности СИ получен патент РФ на изобретение.

**Структура работы.** Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и приложения, изложенные на 191 странице машинописного текста, 17 рисунков и 12 таблиц. Список использованных источников включает 111 наименований.

## Содержание диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы, показана ее связь с государственными программами НИР, сформулированы цели и задачи работы. Раскрыты научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации работы.

В **первой главе** проведен анализ существующих методов оценки, прогнозирования и повышения метрологической надежности СИ, а также информационный обзор и анализ вопросов, связанных с общей характеристикой проблемы метрологической надежности в измерительной технике.

Показано, что при решении задач оценки метрологической надежности различных групп СИ не может быть применен математический аппарат общей теории надежности, основанный на допущениях о стационарности во времени потока отказов и независимости отказов различных элементов изделия. Для СИ характерно наличие нестационарного процесса изменения во времени их метрологических характеристик с монотонно изменяющимся во времени математическим ожиданием и дисперсией, приводящего к метрологическому отказу. Поэтому основой для создания методики прогнозирования метрологической надежности является изучение нестационарного случайного процесса изменения во времени метрологических характеристик, а для СИ – процесса возрастания во времени их основной погрешности, вызванного старением элементов измерительных средств.

Обзор существующих методов оценки и прогнозирования показал, что наиболее перспективными являются методы аналитико-вероятностного прогнозирования, позволяющие оценить метрологический ресурс исследуемых СИ без проведения длительных натурных испытаний.

Показано, что остается актуальным решение задачи повышения метрологической надежности для средств НК ТФС материалов. Существующие методы повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов не учитывают

взаимного влияния элементной базы на величину метрологического ресурса, а также влияние внешних возмущающих факторов, среди которых первостепенное значение имеет температура окружающей среды.

**Вторая глава** посвящена разработке двух методов повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов, основанных на построении математических моделей изменения во времени метрологических характеристик исследуемых средств с учетом взаимного влияния элементной базы. Суть первого метода повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов состоит в следующем:

1 На основе анализа структурной и принципиальной схем для каждого аналогового блока, входящих в измерительный канал средства НК ТФС материалов, строится математическая модель метрологической характеристики вида:

$$S = f(x, \bar{\eta}), \quad (1)$$

характеризующая зависимость значений нормируемой для исследуемого блока метрологической характеристики  $S$  от значения входного параметра  $x$  и параметров элементной базы  $\bar{\eta} = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m\}$ .

2 Производится статистическое моделирование состояния метрологических характеристик исследуемых блоков, которое заключается в последовательном моделировании с учетом процессов старения параметров элементов схем в каждом временном сечении  $t_i$  области контроля  $T_1$ ,  $t_i \in T_1$ ,  $i = 0, 1, \dots, k$  и моделировании реализаций метрологических характеристик блоков в различных временных сечениях  $S(t_i)$ ,  $i = 0, 1, \dots, k$ . При этом используется известное допущение о нормальном законе распределения параметров элементов. Блок-схема алгоритма статистического моделирования метрологической характеристики приведена на рис. 1. Для повышения точности математического описания изменения во времени метрологических характеристик в процедуре статистического моделирования в качестве исходных данных используются нелинейные функции изменения во времени параметров комплектующих элементов.

3 С помощью методов интерполяции по полученным в области контроля  $T_1$  значениям параметров закона распределения метрологической характеристики  $m_S(t_i)$  и  $\sigma_S(t_i)$ ,  $i = 0, \dots, k$  для каждого блока строится математическая модель процесса изменения во времени метрологической характеристики (рис. 2).

Математические модели представляют собой совокупность аналитических зависимостей, полученных для функции изменения во времени математического ожидания исследуемой метрологической характеристики  $M_S(t)$  и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений метрологической характеристики от ее математического ожидания, определенное с допущением:

$$\psi_{\pm\sigma}(t) = m_S(t) \pm c\sigma_S(t), \quad (2)$$

где  $c$  – постоянный коэффициент, в зависимости от заданного уровня доверительной вероятности  $P$  и закона распределения метрологической характеристики (на практике выбирается  $c = 3$  при уровне доверительной вероятности  $P = 0,997$  и нормальном законе распределения метрологических характеристик);  $\sigma_S(t)$  – значение среднеквадратического отклонения метрологической характеристики.

4 Экстраполяция зависимости  $M_S(t)$  и  $\sigma_S(t)$ , определяющих математическую модель изменения во времени исследуемой метрологической характеристики в область предстоящей эксплуатации  $T_2$  (область прогноза), позволяет дать оценку времени наступления метрологического отказа или величины метрологического ресурса. Метрологический ресурс или время безотказной в метрологическом отношении работы исследуемого аналогового блока оценивается интервалом времени от начала его эксплуатации до пересечения зависимостей  $\psi_{\pm\sigma}(t)$  границ поля допуска ( $-S_{\text{доп}}$ ,  $+S_{\text{доп}}$ ) (интервал  $(0, t_{\text{отк}}$ ) на рис. 2).

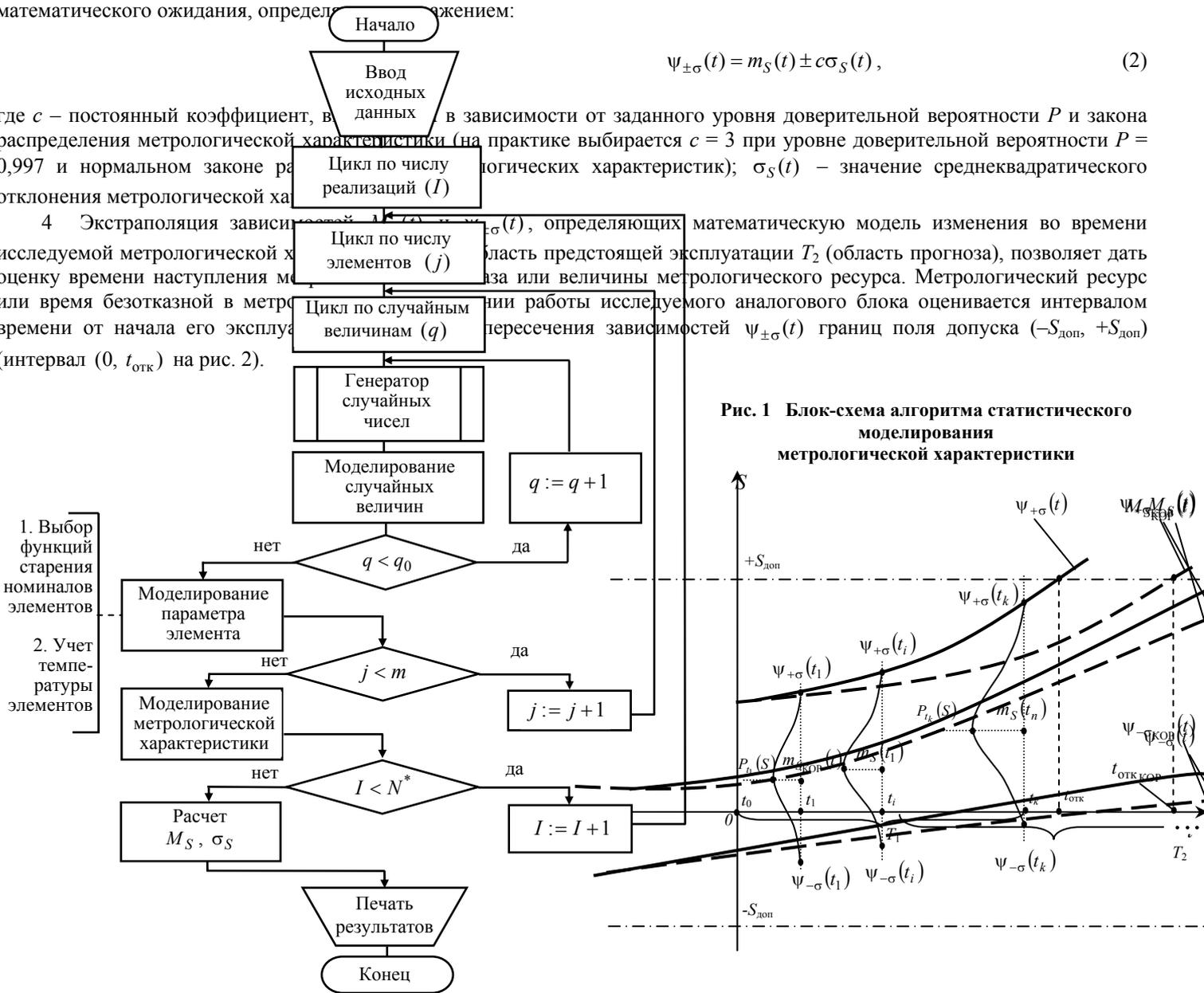


Рис. 1 Блок-схема алгоритма статистического моделирования метрологической характеристики

## Рис. 2 Изменение во времени метрологической характеристики

Соответственно условие сохранения метрологической исправности рассматриваемого измерительного средства определяется выражением:

$$|S(t)| \leq S_{\text{доп}}, \quad (3)$$

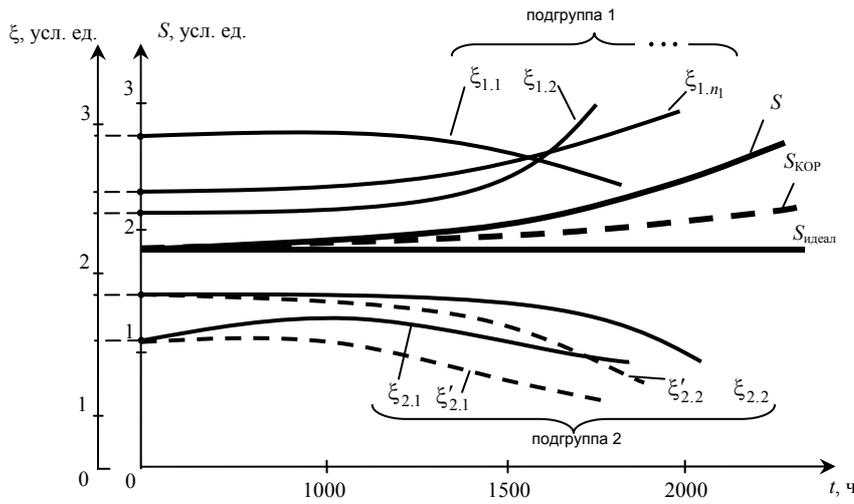
где  $S_{\text{доп}}$  – допустимое значение нормируемой метрологической характеристики для исследуемого аналогового блока.

5 Для повышения метрологического ресурса в математической модели аналогового блока выделяются элементы, увеличение или уменьшение во времени параметров которых вызывает максимальное изменение значений метрологической характеристики. Выделение этих элементов осуществляют по величине нормируемой частной производной вида:

$$G(\xi_j) = \frac{\overline{G}(\xi_j) \sigma_{\xi_j}}{\sqrt{\sum_j \overline{G}^2(\xi_j) \sigma_{\xi_j}^2}}, \quad (4)$$

где  $\overline{G}(\xi_j) = \left| \frac{\partial S}{\partial \xi_j} \right|$  – значения частных производных, вычисленных по соответствующим параметрам комплектующих элементов блока;  $\xi_j$  – номиналы комплектующих элементов блока,  $\xi_j \in \bar{\eta}$ ;  $\sigma_{\xi_j}$  – среднее квадратическое отклонение  $j$ -го параметра комплектующего элемента блока;  $j = 1, \dots, n, n \leq m$ .

6 Далее выделенную группу радиоэлементов делят на две подгруппы по направлению воздействия – в одной объединяют элементы  $\xi_{1.n_1}$ , временное изменение номинала которых приводит к росту значения метрологической характеристики блока, в другой – элементы  $\xi_{2.n_2}$  с обратным воздействием, приводящим к убыванию значений метрологической характеристики (рис. 3).



**Рис. 3 Замена элементов, оказывающих максимальное воздействие на изменение значений метрологической характеристики**

7 Методом перебора осуществляют замену одного или нескольких элементов из одной подгруппы  $\xi_{2.1}, \xi_{2.2}, \dots, \xi_{2.n_2}$  на другие  $\xi'_{2.1}, \xi'_{2.2}, \dots, \xi'_{2.n_2}$ , с такими свойствами функции старения их параметров, чтобы суммарные воздействия функций старения обеих подгрупп частично или, если возможно,

полностью взаимно компенсировались (функция  $S_{\text{идеал}}$ , рис. 3), т.е. чтобы изменения номиналов радиоэлементов во времени оказывали минимальное воздействие на изменения во времени значений метрологической характеристики  $S$  исследуемого аналогового блока (функция  $S_{\text{КОР}}$ , рис. 3).

8 С учетом новых введенных в схему аналогового блока элементов, вновь производят моделирование состояния метрологической характеристики для исследуемого блока и, исходя из условия сохранения метрологической исправности блока во времени (3), получают новое значение его метрологического ресурса  $t_{\text{отККОР}}$  (см. рис. 2) экстраполяцией зависимостей  $M_{S_{\text{КОР}}}(t)$  и  $\psi_{\pm\sigma_{\text{КОР}}}(t)$ . Полученный метрологический ресурс значительно больше ранее найденного из-за снижения темпа изменения во времени исследуемой метрологической характеристики.

Аналогичную процедуру проводят для других аналоговых блоков, входящих в измерительный канал средства НК ТФС материалов, осуществляется повышение значения метрологического ресурса каждого блока. Метрологический ресурс средства НК ТФС материалов в целом определяется по минимальному из найденных значений метрологических ресурсов всех рассматриваемых аналоговых блоков измерительного канала:

$$m_p = \min_{i=1, \dots, l} \{m_{t_i}\}, \quad (5)$$

где  $m_p$  – метрологический ресурс исследуемого средства;  $m_{t_i}$  – значение метрологического ресурса  $i$ -го аналогового блока, входящего в состав измерительного канала исследуемого средства НК,  $i = 1, \dots, l$ .

Метод повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов с учетом теплового взаимного влияния элементной базы состоит в следующем.

Производится выделение элементов, оказывающих доминирующее температурное влияние на изменение во времени метрологической характеристики с использованием зависимости (4) и деление выделенной группы элементов на две подгруппы по аналогии с п. 6 описания первого способа. Далее проводится замена в одной или сразу в обеих подгруппах нескольких радиоэлементов, добиваясь снижения теплового воздействия на интенсивность старения элементной базы и, как результат, на изменение метрологической характеристики аналогового блока средства НК ТФС материалов.

В разработанном методе предусмотрена возможность конструктивных изменений в исследуемых блоках, а именно – использование радиаторов для выделенных элементов, что также влияет на изменение во времени метрологических свойств исследуемых аналоговых блоков измерительного канала средств НК ТФС материалов.

Для учета воздействия температуры окружающей среды в предложенном методе повышения метрологической надежности математическая модель метрологической характеристики принимает вид:

$$S = f(x, \bar{\eta}, \bar{\varphi}), \quad (6)$$

где  $\bar{\varphi} = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_v\}$  – внешние возмущающие воздействия.

Далее при проведении статистического моделирования исследуемой метрологической характеристики моделирование параметров элементов аналогового блока (рис. 1) производится в соответствии с выражением:

$$\xi_j(t, T) = \xi_0(t)(1 + \alpha_j \Delta T_k), \quad (7)$$

где  $\xi_0(t)$  – изменяющееся во времени номинальное значение элемента при нормальных условиях эксплуатации;  $\alpha_j$  – температурный коэффициент изменения номинала  $j$ -го элемента;  $\Delta T_k = T_j - T_n$ ;  $T_j$  – температура поверхности элемента в блоке;  $T_n$  – температура, соответствующая нормальным условиям эксплуатации.

Для определения температуры перегрева элементов разработана программа уточненного расчета теплового режима радиоэлектронного блока, приведенная в приложении 2 диссертации.

Для реализации метода предложены следующие варианты замены комплектующих элементов.

Первый вариант состоит в замене выделенного элемента на элемент с аналогичным значением температурного коэффициента, но с другой функцией изменения во времени номинала.

Второй вариант заключается в замене выделенного элемента на элемент с аналогичной функциональной зависимостью временного изменения номинала, но с другим температурным коэффициентом  $\alpha_j$ .

Третий вариант предусматривает одновременное варьирование двумя параметрами, рассмотренными выше.

В **третьей главе** представлена обобщенная методика оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы. Методика основана на разработанных теоретических положениях методов оценки и повышения метрологической надежности с учетом схмотехнического и теплового взаимного влияния элементной базы и позволяет оценить метрологическую исправность и метрологический ресурс при проектировании средств НК ТФС материалов, принять схмотехнические и конструктивные решения при проектировании исследуемых средств, позволяющие повысить метрологическую надежность средств НК ТФС материалов. Методика может быть применена и для других СИ аналогичной структуры.

Методикой вводится единый алгоритм прогнозирования состояния метрологических характеристик объекта, имеющего вид четырехполюсника, независимо от назначения, структуры схемы, используемой элементной базы и условий эксплуатации.

Блок-схема разработанной методики оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов приведена на рис. 4.

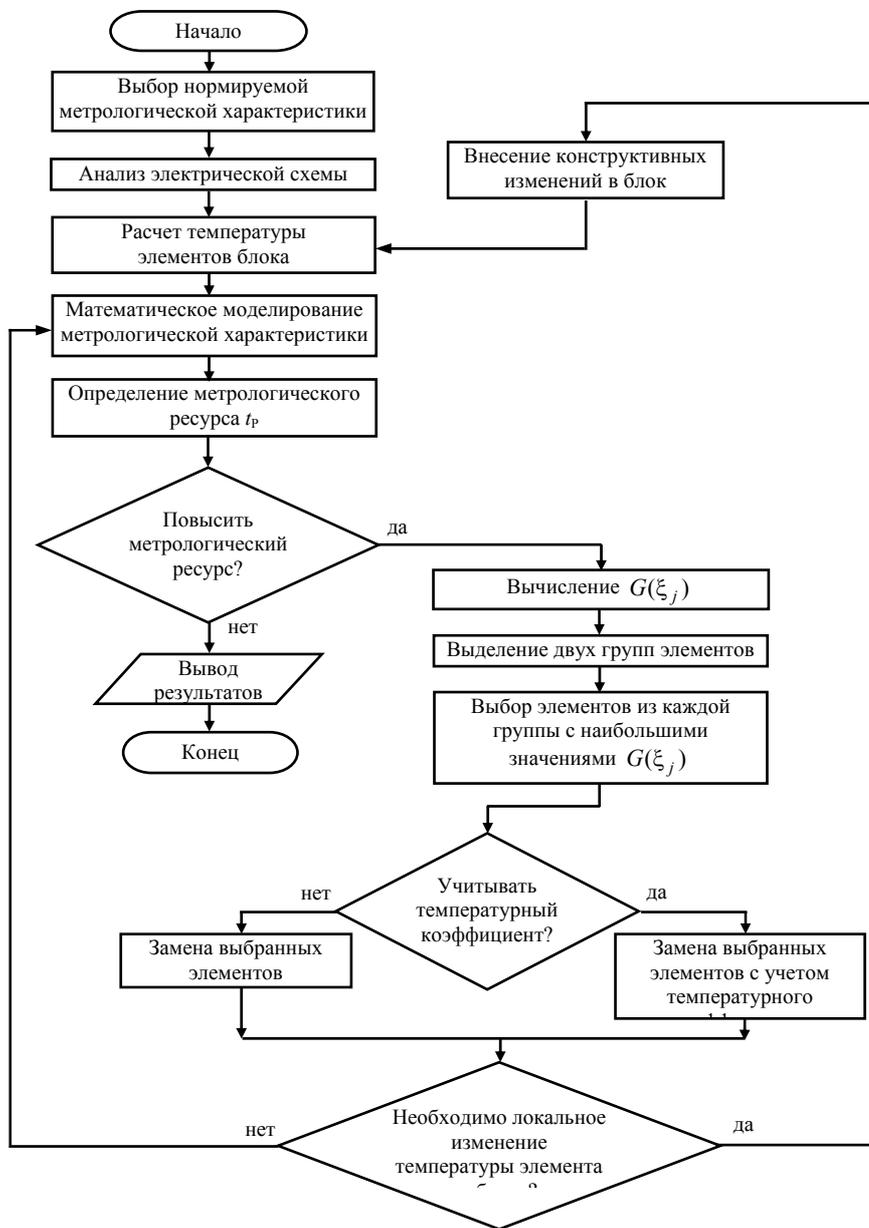
В **четвертой главе** представлены результаты практического применения разработанных методов и обобщенной методики оценки и повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков измерительного канала средств НК ТФС материалов. Исследованы наиболее часто используемые на практике схемные решения аналоговых блоков, составляющих измерительные каналы средств НК ТФС материалов, реализующие контактные и бесконтактные методы измерения: аналого-импульсный преобразователь (АИП), усилитель постоянного тока (УПТ) и один из вариантов входного каскада, используемого в бесконтактных средствах НК. Нормируемой метрологической характеристикой каждого из исследованных блоков являлась основная относительная погрешность:

$$\delta = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВЫХ.Н}}}{U_{\text{ВЫХ.Н}}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $U_{\text{вых}}$ ,  $U_{\text{вых.н}}$  – измеренное и номинальное значения выходного сигнала соответственно.

Для каждого из названных блоков в соответствии с разработанной методикой построены математические модели. Экстраполяция математических моделей изменения основной относительной погрешности блоков позволила оценить значения показателя метрологического ресурса для них. Показана возможность повышения значения метрологического ресурса для каждого из рассматриваемых блоков. В соответствии с разработанной методикой осуществлена замена элементов с доминирующим влиянием на метрологическую характеристику на другие типы, что позволило

получить более высокий уровень метрологической надежности проектируемых устройств.



**Рис. 4** Блок-схема методики оценки и повышения метрологической надежности при проектировании средств НК ТФС материалов с учетом взаимного влияния элементной базы

В табл. 1 представлены сводные данные по величине метрологического ресурса для исследуемых аналоговых блоков измерительного канала типовых средств НК ТФС материалов.

Таблица 1

Типы блоков	Преобразователь напряжение-частота	УПТ	АИП	Входной каскад
Метрологический ресурс до замены, ч	39 300	36 900	38 550	32 000
Метрологический ресурс после проведения замены, ч	48 500	40 000	47 940	39 900

Для каждого блока проведена проверка гипотезы о нормальном законе распределения значений исследуемой метрологической характеристики с использованием статистических критериев. Построены гистограммы распределений в различных временных сечениях, вычислены асимметрия и эксцесс. Проверка показала состоятельность выдвинутых ранее предположений о нормальном законе распределения значений метрологической характеристики. Проведено исследование использования различных видов типовых аппроксимирующих зависимостей для построения математической модели изменения во времени основной относительной погрешности блоков. При этом определены оптимальные аппроксимирующие функции, позволяющие осуществить прогнозирование метрологической надежности рассматриваемых блоков с высокой точностью и достоверностью.

В приложениях помещены компьютерные программы математического моделирования состояния метрологических характеристик и решения задачи повышения метрологического ресурса исследуемых блоков, уточненного расчета температур элементов блока, а также результаты проверки закона распределения метрологической характеристики и анализ математических моделей изменения метрологических характеристик исследуемых блоков до и после осуществления замены элементов; акты о внедрении результатов диссертационной работы.

#### основные выводы и результаты

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1 В результате анализа существующих методов оценки, прогнозирования и повышения метрологической надежности разработаны методы повышения метрологического ресурса как основного показателя метрологической надежности средств НК ТФС материалов, учитывающие взаимное влияние элементной базы.

2 Предложен метод повышения метрологического ресурса аналоговых блоков средств НК ТФС материалов. Метод заключается в замене элементов, имеющих доминирующее влияние на метрологическую надежность средства НК на другие, с такими свойствами изменения во времени их параметров, чтобы суммарные воздействия функций старения всех элементов частично или, если возможно, полностью взаимно компенсировались.

3 Создан метод повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов, учитывающий увеличение интенсивности их старения под воздействием тепловых процессов при тепловом взаимном влиянии элементной базы на изменение метрологических свойств проектируемых средств НК. В основу метода положена замена элементов с учетом значений их температурных коэффициентов, позволяющая снизить воздействие температуры на изменение во времени значений исследуемой метрологической характеристики блока в целом. Кроме того, для снижения теплового взаимного влияния элементной базы на дрейф метрологической характеристики предложено изменение конструктивных решений в проектируемом блоке в части установки дополнительных элементов теплоотвода.

4 На основе предложенных выше методов разработана обобщенная методика оценки и повышения метрологической надежности средств НК ТФС материалов, которая позволяет учитывать не только взаимное влияние элементной базы, но и влияние изменения температуры окружающей среды на метрологический ресурс проектируемого средства НК.

5 Экспериментальная проверка предложенной обобщенной методики повышения метрологической надежности на типовых блоках измерительного канала средств НК ТФС материалов, реализующих контактные и бесконтактные методы измерений, показала, что ее применение позволяет повысить метрологический ресурс аналоговых блоков средств НК ТФС материалов, а значит и метрологическую надежность всего исследуемого средства НК в среднем на 25 %.

#### по теме диссертации опубликованы СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1 *Чернышова Т. И., Шиндяпин Д. А.* Повышение метрологического ресурса при проектировании средств неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий // Контроль. Диагностика. 2002. № 10 (52). С. 27 – 31.

2 *Чернышова Т. И., Шиндяпин Д. А.* Повышение метрологической надежности электронных измерительных средств с учетом воздействия температуры окружающей среды // Проектирование и технология электронных средств. 2002. № 4. С. 10 – 13.

3 Патент № 201273642 РФ на изобретение. Способ оценки и повышения метрологической надежности средств измерений / *Т. И. Чернышова, Д. А. Шиндяпин.*

4 *Чернышова Т. И., Шиндяпин Д. А.* Оценка метрологического ресурса микропроцессорных средств неразрушающего контроля в условиях внешних дестабилизирующих факторов // Проектирование и эксплуатация электронных средств: Международная научно-методическая конференция, 5 – 8 июня 2000 г.: Тезисы докладов. Казань, 2000. С. 162 – 163.

5 *Шиндяпин Д. А.* Оценка метрологической исправности средств неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов с учетом дестабилизирующих воздействий // Теплофизические измерения в начале XXI века: Тезисы докладов Четвертой международной теплофизической школы, 24 – 28 сентября 2001 г. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Ч. 1. С. 174 – 175.

6 *Чернышова Т. И., Шиндяпин Д. А.* Математическое моделирование метрологического ресурса информационно-измерительных систем // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Международ. науч. конф. В 10 т. Т. 7. Секция 7 / Под общ. ред. В. С. Балакирева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 90 – 93.

7 *Чернышова Т. И., Селезнев А. В., Шиндяпин Д. А.* Методика оценки и повышения метрологической надежности при проектировании и эксплуатации микропроцессорных средств неразрушающего контроля // Международная научно-техническая конференция "Информационные технологии в проектировании микропроцессорных систем ИТ ПМПС-2000": Краткие тезисы докладов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 106 – 108.

8 *Шиндяпин Д. А., Селезнев А. В., Чернышова Т. И.* Оценка метрологической надежности средств измерений с учетом внешних дестабилизирующих факторов // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 5. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 68 – 71.

9 *Шиндяпин Д. А.* Оценка метрологического ресурса аналоговых блоков средств неразрушающего контроля с учетом влияния внешних дестабилизирующих факторов // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 9. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 134 – 138.

10 *Шиндяпин Д. А., Чернышова Т. И., Селезнев А. В.* Влияние внешних дестабилизирующих факторов на метрологическую надежность аналоговых блоков микропроцессорных измерительных систем // V научная конференция: Краткие тезисы докладов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 262 – 263.

11 *Шиндяпин Д. А.* Оценка метрологического ресурса аналоговых блоков средств неразрушающего контроля с учетом влияния внешних дестабилизирующих факторов // VI научная конференция: Материалы конференции. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 127 – 128.

12 *Шиндяпин Д. А.* Метод оценки и повышения метрологического ресурса измерительных средств // VII научная конференция: Пленарные доклады и тезисы стендовых докладов. Ч. 1. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 288.