

*На правах рукописи*

Юров Лев Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ

05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Менделеево – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Научный руководитель – Дойников Александр Сергеевич  
доктор технических наук, Главный метролог  
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Официальные оппоненты: Яшин Андрей Валерьевич  
доктор технических наук, заместитель  
директора по метрологической службе  
ФГУП «Всероссийский научно-  
исследовательский институт метрологической  
службы,

Храменков Алексей Викторович  
кандидат технических наук, младший научный  
сотрудник ФГБУ «Главный научный метроло-  
гический центр» Министерства обороны  
Российской Федерации, г. Мытищи,  
Московская область.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприя-  
тие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени  
Д.И.Менделеева», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 24 декабря 2019 г. в 11:00 на заседании диссертационного  
совета Д 308.005.01 в ФГУП «ВНИИФТРИ», 141570, Московская область,  
Солнечногорский район, р.п. Менделеево, ВНИИФТРИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте  
ФГУП «ВНИИФТРИ» <http://www.vniiftri.ru/ru/dissertatsionnyj-sovets> .

Автореферат разослан «\_\_\_» октября 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
к. ф.- м.н.

М. В. Балаханов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность работы.* Основой государственного регулирования обеспечения единства измерений является обеспечение прослеживаемости средств измерений (СИ) к Государственным первичным эталонам путем их первичной и периодической поверки, что однозначно устанавливается Статьей 5 Закона «Об обеспечении единства измерений:» - «измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться ... с применением средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку».

Традиционно поверка СИ осуществлялась с использованием эталонов, имеющих большой запас точности по отношению к поверяемому СИ – до 10 раз. (Здесь и далее под термином «запас по точности эталона» понимается «отношение предела погрешности поверяемого СИ к пределу погрешности эталона, используемого при поверке ( $\Delta_{СИ\ пр}/\Delta_{РЭ\ пр}$ )».)

Дополнительно указывалось, что трехкратный запас по точности достаточен только в случае, «когда при поверке вводят поправки на показания образцовых средств измерений. Если же поправки не вводятся, то образцовые средства выбираются исходя из соотношения 1:5».

С развитием метрологии происходит расширение номенклатуры измеряемых величин, создаются новые СИ и эталоны в таких областях, как измерения параметров ионизирующих излучений, физико-химические измерения, гидроакустические измерения и т. п. При этом часто не удается обеспечить большой запас точности при поверке рабочих СИ в этих видах измерений. Очевидно, что при уменьшении запаса по точности эталона возрастает вероятность признать годным метрологически неисправный прибор. Поэтому анализ влияния погрешности эталона на результаты поверки и разработка достаточно простого для широкой практики метода учета этой погрешности является актуальной задачей.

Известен метод учета погрешности эталона при поверке СИ путем установления значения контрольного допуска меньшим, чем пределы погрешности этого СИ, причем требуемое соотношение контрольного допуска и пределов погрешности зависит от соотношения пределов погрешностей эталона и поверяемого прибора. Для определения количественного соотношения между контрольным допуском и пределом погрешности поверяемого СИ обычно применяется общий подход по выбору средств измерений по точности для решения типовой задачи измерения погрешности поверяемого СИ с помощью эталона. Но такой подход, несмотря на свою очевидность, не получил широкого распространения. К причинам такого положения можно отнести как сложность математического аппарата, используемого при определении предельного значения погрешности, так и затруднения, вызываемые необходимостью изменять предельное значение погрешности в зависимости от точности конкретного эталона, примененного для поверки.

В настоящее время международными документами предлагается подход, основанный на использовании неопределенности измерений при поверке, а именно «в методиках поверки допускается указывать, в каком соотношении должны находиться расширенная неопределенность измерений при поверке и нормы допустимых пределов погрешностей СИ данного утвержденного типа, а также критерии годности СИ измерений с учетом неопределенности измерений при поверке». Это позволяет корректно использовать зачастую уже имеющуюся информацию о неопределенности измерений, выполняемых с использованием того или иного эталона, что существенно облегчает поставленную выше задачу. Общие принципы требуют конкретизации с целью выработки конкретных и достаточно простых для широкого использования рекомендаций.

Для выполнения анализа существующих методов подтверждения соответствия (пригодности) СИ при поверке необходимо обоснованно выбрать показатели качества методик поверки или результатов поверки СИ по этим методикам поверки.

В настоящее время применяется несколько способов поверки и несколько видов критериев годности (видов подтверждения соответствия), применимых к каждому способу поверки.

Поверка СИ может заключаться:

а) в определении пригодности СИ к применению с отбраковкой тех СИ, погрешность которых превышает пределы допускаемой погрешности, установленной для СИ данного типа – поверка способом отбраковки;

б) в установлении действительных значений или градуировочных характеристик СИ, поступивших на поверку (в том числе путем введения поправок) - поверка способом градуировки.

Поэтому актуальным является:

- создание методов оценки численных значений показателей достоверности результатов поверок, что позволяет сравнивать различные способы поверки (с учетом применяемых критериев годности) между собой;

- создание методик поверки при малом отношении предела погрешности поверяемого средства измерений (далее - СИ) к пределу погрешности эталона (запаса по точности эталона) используемого при поверке, без ухудшения показателей достоверности поверки.

**Объектом исследования** является процесс периодической поверки средств измерений (СИ) с помощью (рабочих) эталонов (РЭ).

**Предмет исследования** – влияние параметров процесса поверки СИ на показатели достоверности результатов поверки.

**Целью работы** является совершенствование процедур передачи единиц измерения от вышестоящих по поверочным схемам эталонов рабочим СИ с учетом запаса по точности эталонов и нестабильности метрологических характеристик (МХ) СИ. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Выполнить исследование применяемых в настоящее время показателей достоверности результатов поверки и сформировать оптимальный комплекс таких показателей;

2. Разработать и реализовать программно алгоритмы имитационного статистического моделирования процедур передачи размера единиц при поверке, позволяющие оценить численные значения параметров достоверности поверки;

3. Исследовать факторы и ограничения, влияющие на достоверность поверки способом отбраковки;

4. Исследовать факторы и ограничения, влияющие на достоверность поверки способом градуировки;

5. Разработать методику выбора способа и параметров поверки СИ с использованием данных о нестабильности МХ СИ.

**Методы исследования.** В диссертации применены теоретические и экспериментальные методы исследований. При разработке алгоритмов и моделей использовались элементы теории статистического имитационного моделирования. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием теории вероятности и математической статистики.

**Достоверность и обоснованность результатов исследования** подтверждается: корректным использованием существующих методов исследования; соответствием расчетных и экспериментальных данных.

**Научная новизна** заключается в том, что:

1. Впервые разработана комплексная модель процедуры поверки, включающую в себя иерархическую модель передачи размера единицы от ГЭТ к СИ, многовариантную модель периодического подтверждения соответствия, модель изменения МХ СИ в течении интервала между поверками, что позволяет оценить основные показатели результатов поверки:  $R_3$  – риск заказчика и  $P_{\text{брак}}$  - вероятность бракования СИ, без привлечения сведений о ранее выполненных поверках;

2. Впервые исследовано влияние нестабильности МХ СИ на результаты поверки для наиболее часто применяемых на практике способов поверки и вариантов подтверждения соответствия;

3. Впервые обоснована оптимальная ширина защитной полосы для поверки способом отбраковки с учетом неопределенности измерений при поверке, что позволило в 1,5 – 2 раза расширить область применимости этого способа поверки в сторону меньших запасов по точности эталона и больших нестабильностей МХ поверяемых СИ;

4. Впервые получены аналитические соотношения для оценки минимально – допустимого предела погрешности СИ с учетом максимально – допустимой нестабильности МХ СИ и МХ используемого рабочего эталона для основных способов поверки.

#### **Практическая ценность:**

Результаты работы могут использоваться как разработчиками и изготовителями СИ различных типов при их метрологических исследованиях и назначении метрологических характеристик этим СИ испытательными центрами при проведении испытаний СИ в целях утверждения типа, так и государственными научными метрологическими институтами при разработке и актуализации государственных поверочных схем.

Разработанная статистическая имитационная модель поверки позволяет учесть нестабильность МХ СИ как основной фактор, определяющий метрологические характеристики СИ конкретного типа, а так же учесть неопределенность измерений при поверке, что позволяет существенно повысить достоверность поверки.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанная комплексная статистическая имитационная модель процедуры поверки СИ учитывает основные способы поверки СИ и варианты подтверждения соответствия, позволяет оценить основные показатели результатов поверки.

2. Предложенная процедура подтверждения соответствия с учетом неопределенности измерений при поверке способом отбраковки позволяет в 1,5 – 2 раза расширить область применимости этого способа в сторону мень-

ших запасов по точности эталона и больших нестабильностей МХ поверяемых СИ.

3. Использование в качестве контрольного допуска при поверке способом градуировки предела нестабильности (а не предела погрешности) МХ СИ в случае, если нестабильность МХ СИ носит преимущественно систематический характер, позволяет до 3 раз снизить вероятность признать годным фактически неисправное СИ (риск заказчика -  $R_3$ ).

4. Разработанный метод оценки метрологических характеристик СИ, подлежащих нормированию, позволяет установить допустимые пределы погрешности СИ для основных способов поверки на основании исследования нестабильности МХ СИ и данных о нормированных МХ используемого рабочего эталона.

#### **Реализация результатов работы.**

Результаты работы внедрены при:

- созданию введенной в метрологическую практику «Методики выбора способа и параметров поверки СИ с использованием данных о нестабильности МХ СИ» - МИ 3620-2019. Учет указанных рекомендаций при испытаниях СИ в целях утверждения типа позволяет в 1,5 – 2 раза расширить область применимости поверки способом отбраковки в сторону меньших запасов по точности эталона и больших нестабильностей МХ поверяемых СИ;

- разработке межгосударственных рекомендаций РМГ 91–2019 «ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы», принятых Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества Независимых государств.

**Апробация результатов работы.** Материалы диссертации докладывались на:

9 –ом Международном научно-техническом семинаре «Неопределенность измерения: научные, прикладные, нормативные и методические аспекты» (UM-2012). 24 – 25 февраля 2012;

10 –ом Международном научно-техническом семинаре «Неопределенность измерения: научные, прикладные, нормативные и методические аспекты» (UM-2013), 16 – 18 апреля 2013 г.;

Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы измерений, контроля, управления и диспетчеризации в промышленности», 28 – 29 октября 2014 г.;

11 –ом Международном научно-техническом семинаре «Неопределенность измерения: научные, прикладные, нормативные и методические аспекты» (UM-2014), 20 – 22 мая 2014 г.;

IX Всероссийской научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике», 17 – 19 июня 2014 г.;

XI Всероссийской научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике», 19 – 21 июня 2018 г.

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 17 публикациях, из которых 3 статьи опубликованы в журналах, индексируемых в WoS и Scopus, 5 - в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК и в 2-х патентах на изобретение.

**Личный вклад автора.** Все результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. В совместных публикациях личный вклад автора по теме диссертационной работы является определяющим. Автор лично подготовил публикации по теме работы и провел апробацию результатов исследований на различных научных конференциях.

**Соответствие диссертации научной специальности.**

Диссертационная работа соответствует специальности «05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержание работы изложено на 113 страницах и включает 36 рисунков и 27 таблиц. Список литературы состоит из 82 наименований на 7 листах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, указаны цели и задачи исследования, сформулированы выносимые на защиту основные положения, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов и обозначен личный вклад автора.

**В первой главе** выполнен обзор и анализ существующих подходов к разработке методик поверки и анализу качества методик поверки средств измерений (СИ). Выявлено, что наиболее эффективным подходом к анализу качества методик поверки является моделирование, при этом используются различные модели – как аналитические, так и имитационные, но отсутствует общепринятый подход к выбору критериев достоверности результатов поверки, что затрудняет интерпретацию результатов моделирования.

На первом этапе выполнен анализ показателей достоверности поверки, используемых в настоящее время. По результатам проведенного анализа предложено в качестве показателей достоверности поверки принять:

$\Delta_{СИМ}/\Delta_{СИпр}$  - отношение наибольшего возможного модуля контролируемой характеристики погрешности экземпляра СИ, который может быть ошибочно признан годным, к пределу ее допускаемых значений;

$R_3$  - риск заказчика, вероятность того, что СИ является фактически негодным (метрологически неисправным) при условии что оно признано в результате поверки годным.

В качестве важнейшего показателя результатов поверки следует использовать и показатель экономической эффективности процесса поверки:

$R_{брак}$  - вероятность признания СИ негодным (бракованным) по результатам поверки. Этот показатель включает в себя риск производителя  $R_{п}$  – вероятность того, что фактически годное (фактически соответствующее всем требованиям) СИ при поверке ошибочно забраковано [25], поэтому справедливо следующее соотношение:  $R_{брак} \geq R_{п}$ . В отличие от  $R_{п}$  вероятность признания СИ негодным по результату поверки может быть определена экспериментально на основании статистического анализа результатов поверки однотипных СИ.

Проведенный анализ показал, что к важнейшим факторам, влияющим на МХ СИ, следует отнести наличие изменения погрешности СИ от времени, характеризуемое - «**нестабильностью метрологических характеристик (МХ) СИ** – изменение МХ СИ за установленный интервал времени».

На основе полученных результатов предложена комплексной статистической имитационной модели процесса поверки, в которой процесс поверки рассматривается как случайный процесс, заключающийся в многократно повторяющихся через МПИ процедурах поверки рабочего эталона (РЭ) с использованием государственного первичного эталона (ГЭТ) и поверки СИ с использованием РЭ. В процессе эксплуатации как ГЭТ, так РЭ и СИ в течении интервала между поверками (МПИ) их погрешность может изменяться в силу нестабильности МХ как СИ, так и РЭ и ГЭТ. Комплексная модель включает в себя иерархическую модель передачи размера единицы от ГЭТ к СИ, многовариантную модель периодического подтверждения соответствия, модель изменения МХ СИ в течении интервала между поверками, что позволяет оценить основные показатели результатов поверки:  $R_3$  – риск заказчика и  $P_{\text{брак}}$  – вероятность забракования СИ, без привлечения сведений о ранее выполненных поверках.

Начинается процесс поверки с аттестации первичного эталона (ГЭТ), изготовления и первичной поверки РЭ и СИ (рис. 1).

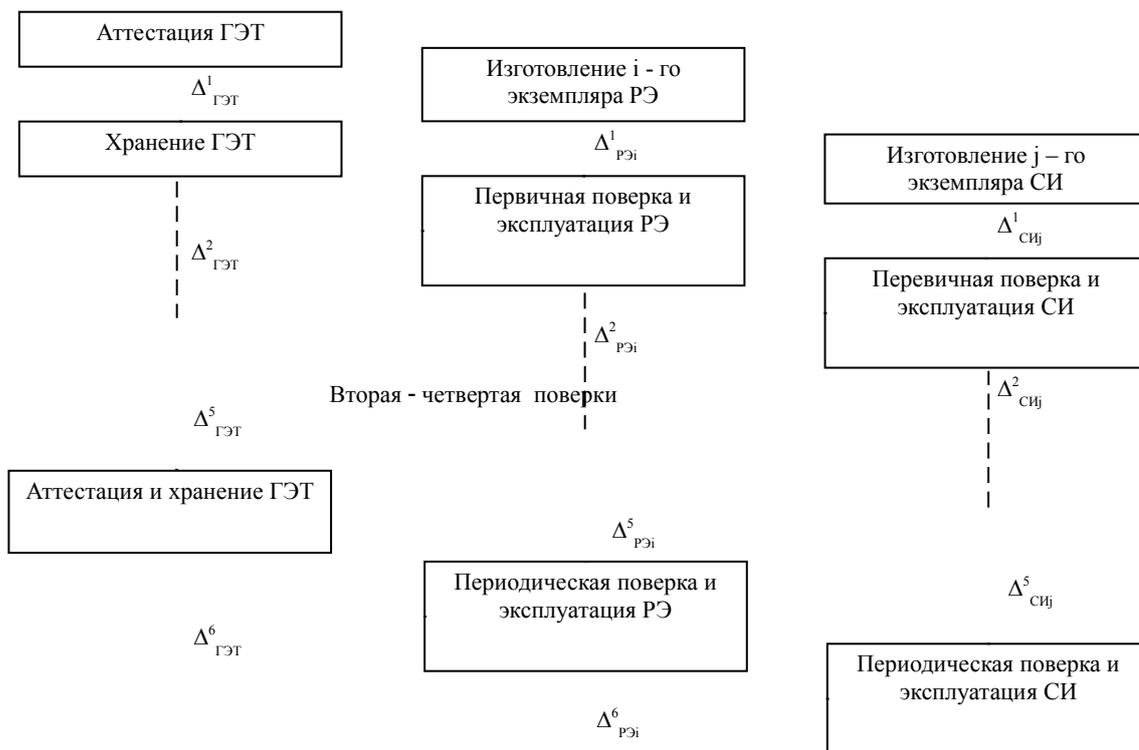


Рисунок 1 - Укрупненная структурная схема процесса передачи размера единицы от ГЭТ к РЭ и к СИ.

Детальная структурная схема алгоритма первичной поверки СИ представлена на рисунке 2.

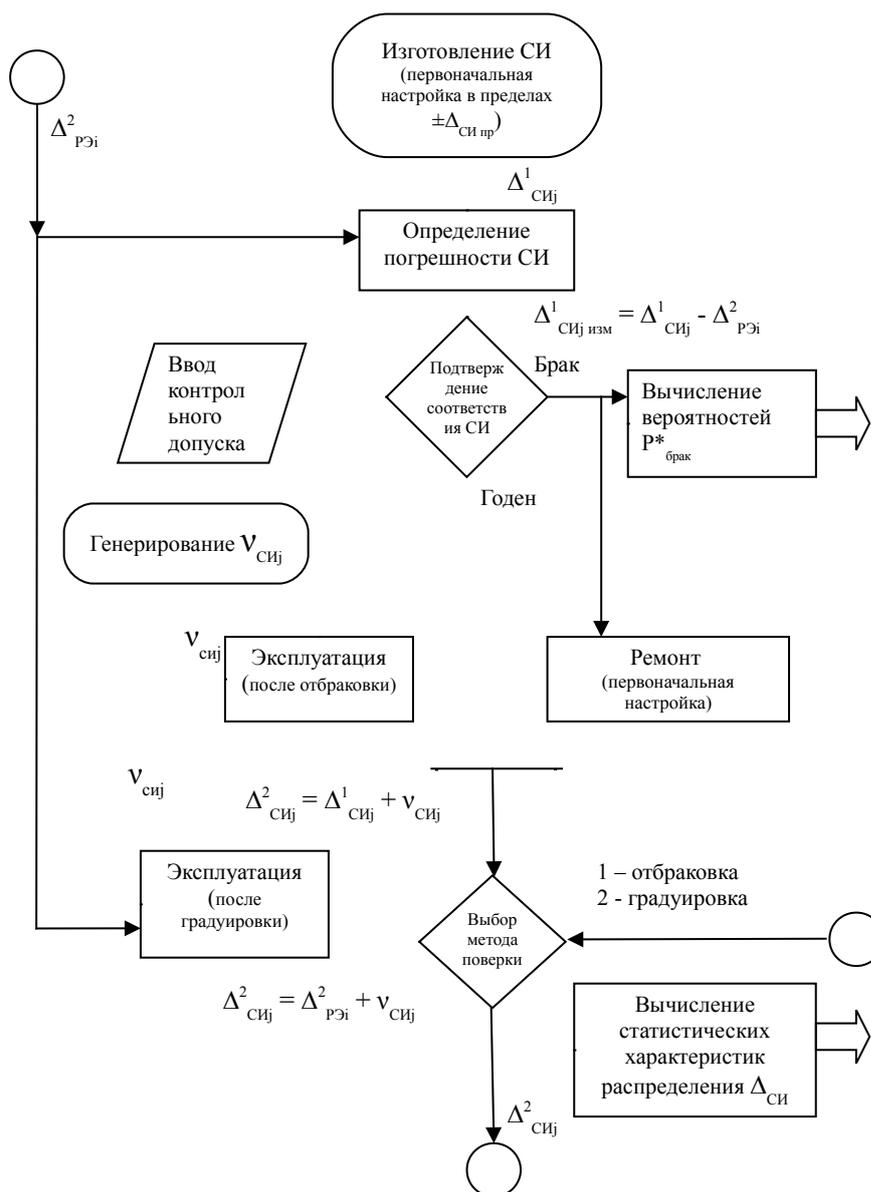


Рисунок 2 - Структурная схема алгоритма первичной поверки СИ

При моделировании приняты следующие ограничения:

- Случайная составляющая как погрешности ГЭТ, РЭ, СИ, так и результата измерений при поверке пренебрежимо малы;
- Погрешности и нестабильности равномерно распределены в интервалах, ограниченных своими границами;

Границы нестабильности меньше соответствующих границ погрешности.

Статистическая имитационная модель процесса поверки реализована в виде электронной таблицы и содержит  $N$  строк, в каждой из которых моделируется одна случайная реализация процесса периодической поверки. Это дает возможность определять результаты моделирования путем обработки данных, содержащихся в соответствующих столбцах.

Была выполнена валидация предложенной модели процесса поверки путем сопоставления результатов моделирования как с теоретическими оценками  $\Delta_{СИ \text{ макс}}$ , так и с оценками нестабильности различных групп СИ и вероятности их забракования по результатам периодической поверки, полученными в результате обработки данных из протоколов поверки СИ Ростовской АЭС в 2010–2012 годах в рамках работ по оценке возможности продления ИМП СИ, эксплуатируемых на этой АЭС. В результате анализа установлено, что результаты моделирования удовлетворительно совпадают с результатами обработки экспериментальных данных. При этом подтверждается как предположение о характере нестабильности СИ, так и целесообразность использования варианта модели поверки с использованием одного и того же РЭ.

**Вторая глава** посвящена исследованию, с помощью созданной автором модели, процесса поверки СИ способом отбраковки - в определении пригодности СИ к применению с забракованием тех СИ, характеристика погрешности которых превышает по абсолютному значению предел ее допускаемых значений, установленный для СИ данного типа, как наиболее распространенного способа поверки. Выполнены расчеты основных статистических характеристик погрешности на множестве поверенных СИ указанным выше способом – то есть при поверке способом отбраковки и при условии, что в качестве контрольного допуска применяется предел погрешности СИ. Полученные зависимости представлены на рисунке 3.

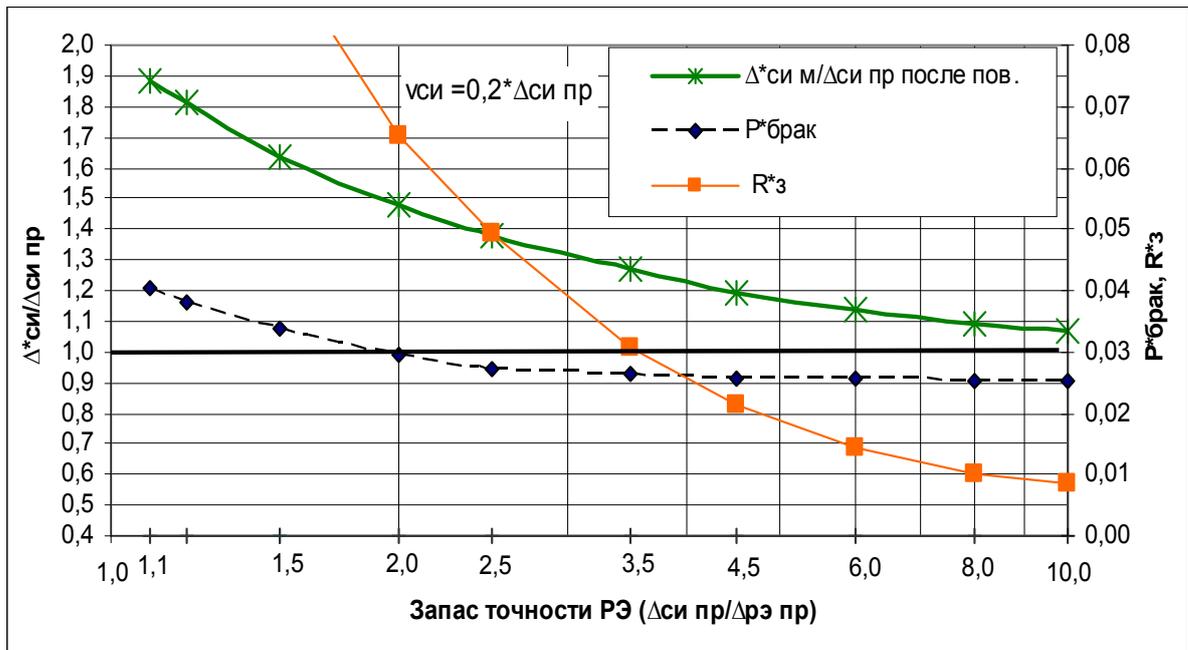


Рисунок 3 – Зависимости МХ поверенных СИ от запаса по точности эталона при проверке способом отбраковки

Выполнен анализ способов учета неопределенности измерений при проверке, показано, что оптимальным является решающее правило, основанное на защитных полосах, где ширина защитной полосы пропорциональна неопределенности измерений при проверке. Путем многократного моделирования построены изолинии для показателей результатов проверки ( $P_{\text{брак}} = 5\%$ ,  $R_z = 5\%$ ,  $\Delta_{\text{СИМ}}/\Delta_{\text{СИпр}} = 1,35$ ) в зависимости от ширины защитной полосы  $W = \gamma U$ , приведенные на рис. 5.

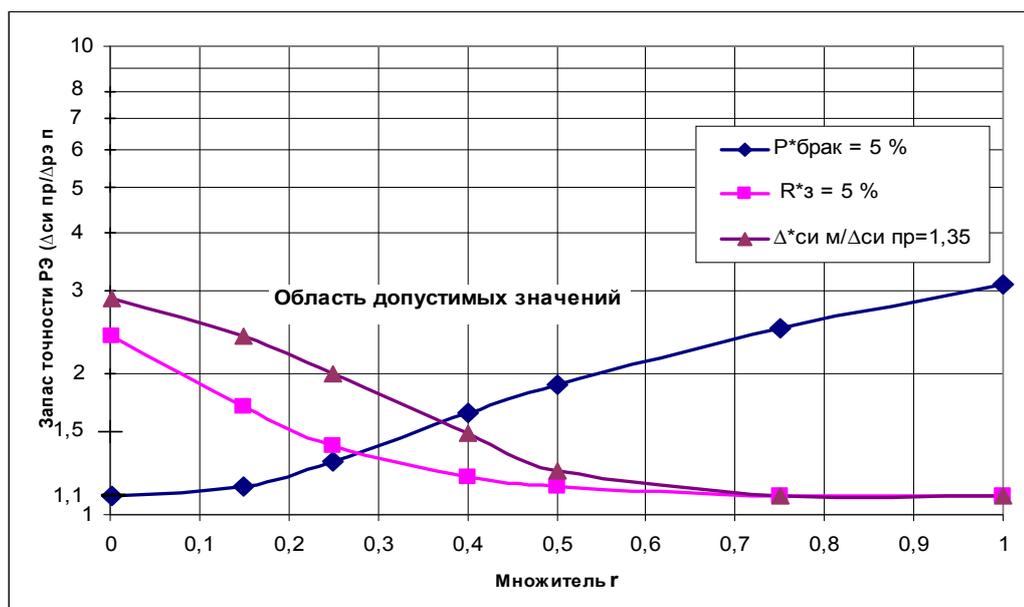


Рисунок 5 – Область допустимых значений запаса по точности РЭ в зависимости от ширины защитной полосы (множителя  $\gamma$ )

Область выше всех трех изолиний является областью допустимых значений параметров поверки и достигает своего оптимума при  $W = 0,4 \cdot U$ .

Выполнен анализ влияния нестабильности МХ СИ на результаты поверки, позволивший выявить зависимость максимально допускаемой нестабильности МХ СИ от запаса по точности РЭ и ширины защитной полосы (рис. 6).

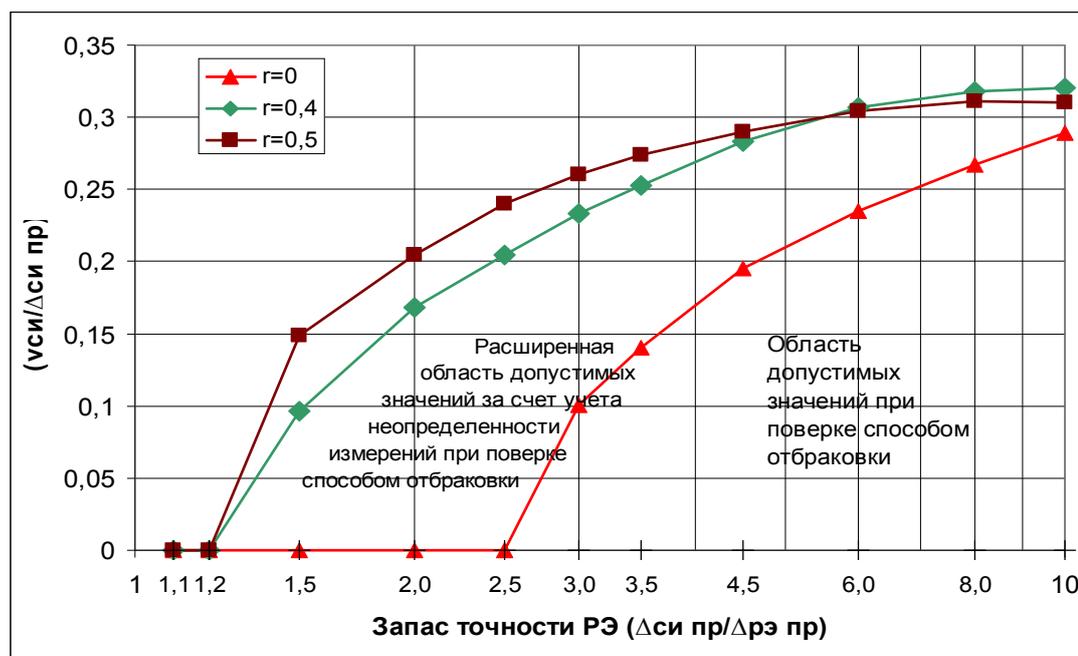


Рисунок 6 – Зависимость максимально допускаемой нестабильности МХ СИ от запаса по точности РЭ и ширины защитной полосы (без защитной полосы –  $r=0$ , с защитной полосой при  $r=0,4$  и  $r=0,5$ )

Таким образом, детальный анализ, с учетом изменения метрологических характеристик СИ в течении интервала между поверками показал, что ширину защитной полосы  $W$  целесообразно выбирать равной  $0,5 \cdot U$  ( $r = 0,5$ ), что позволяет в 1,5 – 2 расширить область применимости этого способа в сторону меньших запасов по точности эталона и больших нестабильностей МХ поверяемых СИ.

**Третья глава** посвящена исследованию процесса поверки СИ способом градуировки - определению пригодности СИ к применению по нормам стабильности (с забракованием тех СИ, изменение действительного значения или градуировочной характеристики которых за МПИ превысило предел допускаемой нестабильности, установленный для СИ данного типа) и градуи-

ровка СИ, признанных годными. В результате исследований показано, что использование в качестве контрольного допуска при поверке способом градуировки предела нестабильности (а не предела погрешности) МХ СИ в случае, если нестабильность МХ СИ носит преимущественно систематический характер, позволяет до 3 раз снизить вероятность признать годным фактически неисправное СИ (риск заказчика -  $R_3$ ). Результаты моделирования представлены на рис. 7.

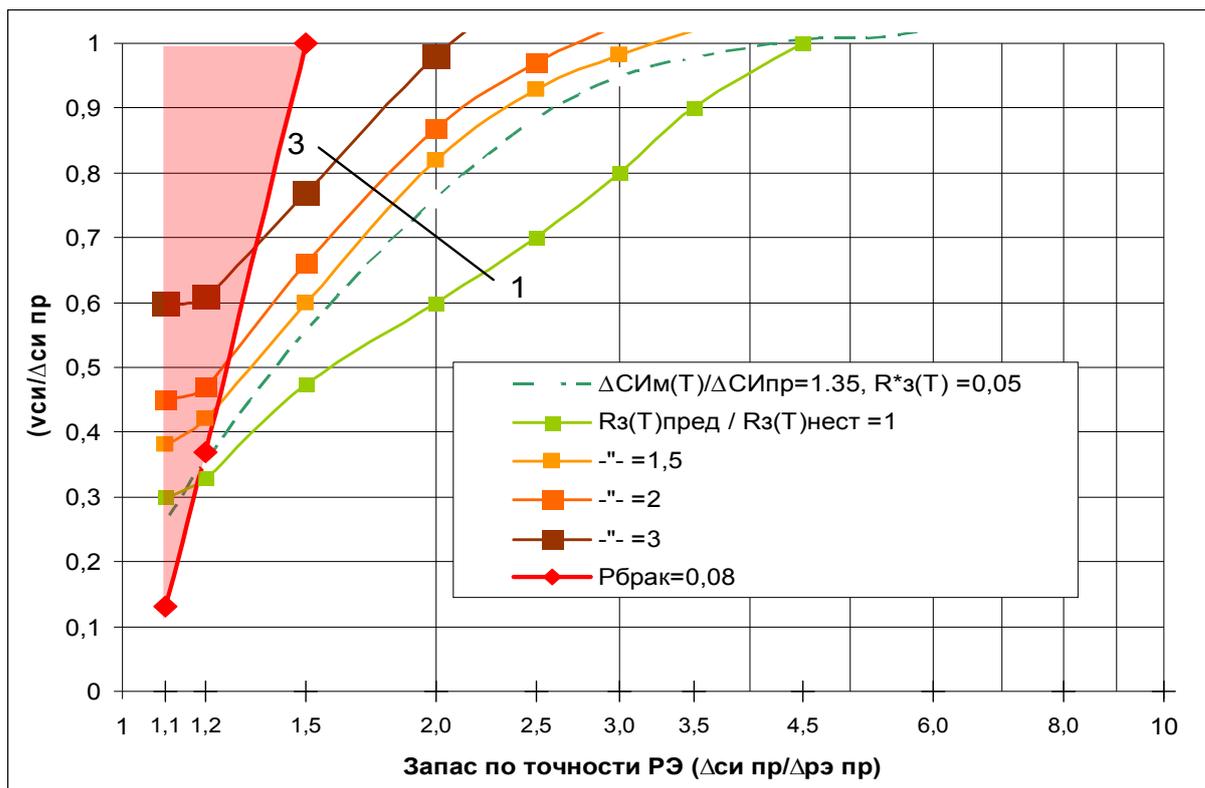


Рисунок 7 – Степень уменьшения риска заказчика  $R_3(T)$  в случае, если нестабильность МХ СИ носит преимущественно систематический характер, а в качестве контрольного допуска при поверке способом градуировки используется предел нестабильности МХ СИ по сравнению с аналогичной поверкой, но при использовании в качестве контрольного допуска предела погрешности поверяемого СИ

Так же показано, что по сравнению с поверкой способом отбраковки, поверка способом градуировки позволяет существенно расширить область допустимых значений как по нестабильности МХ СИ, так и по запасу точности применяемых при поверке эталонов без ухудшения результатов поверки (рис. 8).

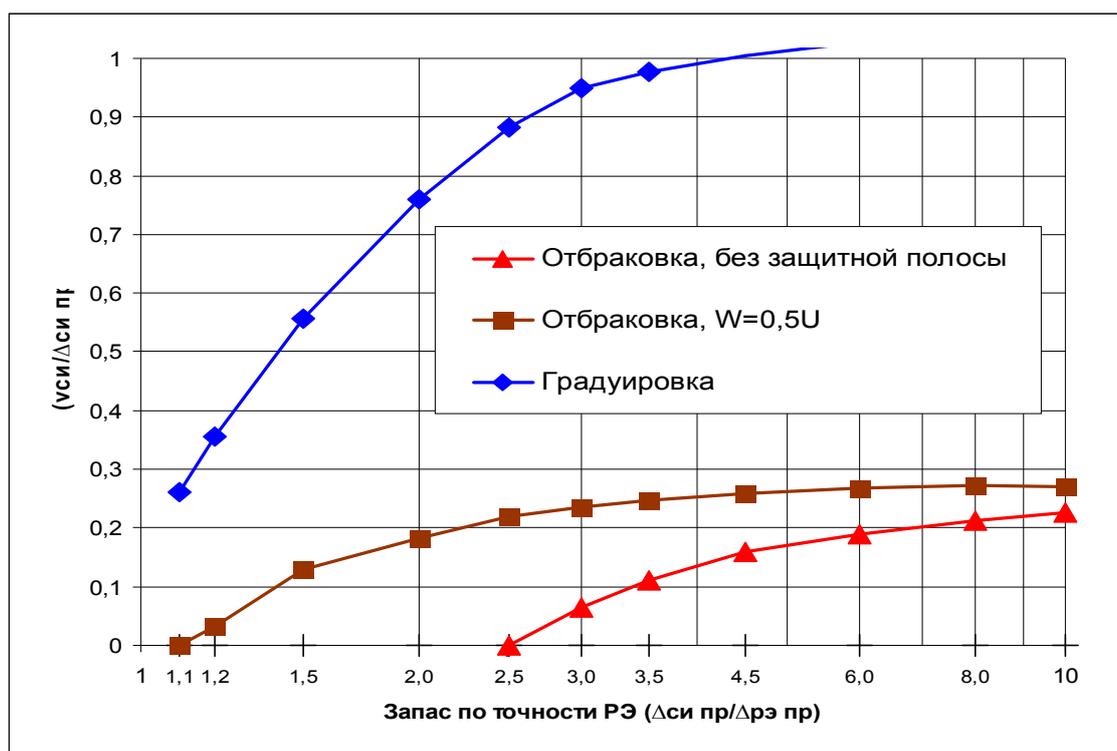


Рисунок 8 – Зависимость максимально допустимой нестабильности МХ СИ от запаса по точности РЭ, способов поверки и варианта подтверждения соответствия

**В четвертой главе** приводятся результаты решения обратной задачи – как по известной верхней границы доверительного интервала для нестабильности МХ СИ ( $v_{\text{си пр}}$ ) и известному пределу погрешности эталона найти минимально допустимый предел погрешности СИ для различных способов поверки и вариантов подтверждения соответствия МХ СИ установленным требованиям. Для решения этой задачи использовались уже полученные ранее в главах 2 и 3 зависимостями  $v_{\text{си макс}}/\Delta_{\text{си пр}}$  от  $\Delta_{\text{си пр}}/\Delta_{\text{рэ пр}}$ . Эти зависимости получены методом численного моделирования на основе использования статистической имитационной модели процесса поверки, то есть представляют из себя табличные функции значений  $\Delta_{\text{си пр}}/\Delta_{\text{рэ пр}}$  и соответствующих значений  $v_{\text{си макс}}/\Delta_{\text{си пр}}$ . Для решения обратной задачи была выполнена аппроксимация этих функций аналитическими – то есть найдены такие приближенные функции, которые проходили бы близко к их табличным значениям и позволяли решить поставленную задачу определения  $\Delta_{\text{си пр}}$  по известным  $v_{\text{си макс}}$  и  $\Delta_{\text{рэ пр}}$  во всем диапазоне их значений. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Выражения для вычисления предела погрешности СИ для разных вариантах поверки

Способ поверки	Вид подтверждения соответствия	Ширина защитной полосы $W$	Функция аппроксимации	Предел погрешности СИ $\Delta_{СИпр}$
Отбраковка	простое	0	$\frac{v_{СИмакс}}{\Delta_{СИпр}} = 0,24 - 1,6 \frac{\Delta_{РЭпр}^2}{\Delta_{СИпр}^2}$	$2,1(v_{СИмакс} + \sqrt{v_{СИмакс}^2 + 1,5\Delta_{РЭпр}^2})$
Отбраковка	с защитной полосой	0,5U	$\frac{v_{СИмакс}}{\Delta_{СИпр}} = 0,37 - 0,34 \frac{\Delta_{РЭ}^2}{\Delta_{СИ}^2}$	$1,85(v_{СИмакс} + \sqrt{v_{СИмакс}^2 + 0,37\Delta_{РЭ}^2})$
Градуировка	по нормам стабильности МХ СИ		$\frac{v_{СИмакс}}{\Delta_{СИпр}} = 1,04 - \frac{\Delta_{РЭпр}^2}{\Delta_{СИпр}^2}$	$0,48(v_{СИмакс} + \sqrt{v_{СИмакс}^2 + 4,2\Delta_{РЭ}^2})$

В результате получены простые расчетные соотношения для оценки предела погрешности  $\Delta_{СИпр}$  на основании данных о нестабильности МХ СИ и предела погрешности используемого для поверки рабочего эталона  $\Delta_{РЭпр}$ . Разработанный метод оценки метрологических характеристик СИ, подлежащих нормированию, позволяет установить допустимые пределы погрешности СИ для основных способов поверки на основании исследования нестабильности МХ СИ и данных о нормированных МХ используемого рабочего эталона.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе содержится решение актуальной научной задачи по разработке комплекса технических средств для воспроизведения и передачи единицы массовой концентрации кислорода и водорода, растворенных в воде, имеющей важное значение для обеспечения единства измерений в данной области.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Проведена оценка современного состояния методов анализа процесса поверки СИ, методов анализа и способов повышения достоверности по-

верки. На основании проведенного анализа разработаны метод и алгоритмы статистического имитационного моделирования процедуры поверки, позволившие проанализировать существующие методики поверки и предложить меры по их оптимизации, обеспечивающие требуемые значения показателей достоверности поверки как в начале интервала между поверками, так и перед его окончанием.

2. Показано, что предложенный алгоритм моделирования позволяет исследовать влияние нестабильности СИ на показатели достоверности результатов поверки.

3. Проведен анализ процедуры подтверждения соответствия с учетом неопределенности измерений при поверке способом отбраковки, что позволило в 1,5 – 2 раза расширить область применимости этого способа в сторону меньших запасов по точности эталона и больших нестабильностей поверяемых СИ.

4. Разработанный метод оценки метрологических характеристик СИ, подлежащих нормированию, позволяет установить допустимые пределы погрешности СИ для основных способов поверки на основании исследования нестабильности МХ СИ и данных о нормированных МХ используемого рабочего эталона.

Достигнута основная цель диссертационного исследования – созданы методы априорной оценки показателей достоверности поверки, учитывающего как все существенные характеристики методики поверки, так и метрологические характеристики поверяемого СИ и созданы методы совершенствования процедур передачи единиц величин от вышестоящих по поверочным схемам эталонов рабочим СИ с учетом запаса по точности эталонов и нестабильности метрологических характеристик СИ, в том числе обоснована оптимальная ширина защитной полосы для поверки способом отбраковки с учетом неопределенности измерений при поверке, что позволило в 1,5 – 2 раза расширить область применимости этого способа поверки в сторону меньших запасов по точности эталона и больших нестабильностей МХ поверяемых СИ

и получены аналитические соотношения для оценки минимально – допустимого предела погрешности СИ с учетом максимально – допустимой нестабильности МХ СИ и МХ используемого рабочего эталона для основных способов поверки.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

##### **В научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Дойников, А.С. Метрологическая прослеживаемость координатно-временных измерений [Текст] / А. С. Дойников, Б. Н. Крупин, Л.В. Юров // Измерительная техника. – 2013. - № 9. - С. 8 -14.
2. Doynikov, A.S. Metrological traceability of coordinate-time measurements [Текст] / A.S .Doynikov, B.N. Krupin, L.V. Yurov // Measurement Techniques. - 2013. - Т. 56. - № 9. - С. 957-964.
3. Юров Л.В. Оценка качества методик поверки и поверочных схем [Текст] / Л.В. Юров // Измерительная техника. - 2015, - № 1, - С.27-32.
4. Yurov, L.V. Quality assessment of Verification methodologies and Verification procedures [Текст] / L.V. Yurov // Measurement Techniques. – 2015, - Т. 58. - № 1. - С. 38-45.
5. Юров, Л.В. Оптимизация поверки средств измерений способом отбраковки [Текст] / Л.В. Юров // Измерительная техника. - 2019, - №2. - С. 3 -5.

##### **Патенты РФ:**

7. Устройство для поверки манометров [Текст]: Патент на изобретение RU 2 282 166, / Осокин Ю.М., Юнышев В.А., Сараханов К.А., Юров Л.В.; заявл. 27.12.2004; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23.
8. Способ определения метрологических характеристик измерителя скорости движения транспортного средства по видеокадрам [Текст]: Патент на изобретение RU 2 442 173 / Зарубин Ю.Л., Убоженко Н.В., Стукалов Д.А., Вовк М.А., Юров Л.В.; заявл. 03.12.2010, опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.

##### **В других журналах и изданиях:**

9. Дойников, А.С. Проблемы формирования опорных значений координат и поправок часов спутников ГЛОНАСС [Текст] / Дойников А.С. Безменов И.В. Пасынок С.Л., Юров Л.В. // Восьмая Всероссийская научно-техническая конференция «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации. Материалы конференции, Часть 1 (Пос. Поведники Московской обл., 26-27 октября 2010 года). - С. 95.
10. Дойников, А. С. Использование неопределенности измерений при поверке средств измерений [Текст] / А.С. Дойников, Л.В. Юров // Систе-

- ми обробки інформації (Системы обработки информации). - 2012. - № 1(99). - С. 26-29.
11. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны для координатно-временных измерений. Основные положения. Способы выражения погрешностей [Текст]: ГОСТ Р 8.739-2011, М. Стандартинформ / А. С. Дойников, Б.Н. Крупин, Л.В. Юров. – 2012. - 20 с.
  12. Дойников, А. С. Общие принципы оценки соответствия с учетом метрологической прослеживаемости и неопределенности измерений. Сборник выступлений участников Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы измерений, контроля, управления и диспетчеризации в промышленности». Доклады, статьи, тезисы. Москва, КРОКУС ЭКСПО, 28 – 29 октября 2014 г., с. 70 – 80 Дойников А. С., Юров Л.В.
  13. Юров, Л.В. Определение оптимального коэффициента охвата расширенной неопределенности при поверке средств измерений [Текст] / Л.В. Юров // Системы обробки інформації (Системы обработки информации). – 2014. - № 3(119). Харьков. - С. 41-44.
  14. Юров, Л.В. Метод учета неопределенности измерения при поверке средств измерений [Текст] / Л.В. Юров // Метрология в радиоэлектронике. Тезисы докладов IX Всероссийской научно-технической конференции, 17 — 19 июня 2014 г. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2014. - С. 134 — 138.
  15. Юров, Л.В. Метод учета неопределенности измерения при поверке средств измерений [Текст] / Л.В. Юров // Альманах современной метрологии. – 2014. - №1. - С. 290 — 301.
  16. Юров, Л.В. Оптимизация способа поверки методом отбраковки с помощью имитационной статистической модели [Текст] / Л.В. Юров // Вестник метролога. - 2015. - №1. - С. 11-18.
  17. Дойников, А. С. Общие принципы оценки соответствия с учетом метрологической прослеживаемости и неопределенности измерений [Текст] / А. С. Дойников, Л.В. Юров // Прикладная физика и математика. - 2015 г. - № 1. - С. 22-28.
  18. Дойников, А. С. Методические вопросы обеспечения прослеживаемости эталонов и результатов измерений. Метрология в радиоэлектронике [Текст] / А. С. Дойников, Л.В. Юров // Тезисы докладов XI Всероссийской научно-технической конференции, 19 — 21 июня 2018 г., Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ». – 2018. - С. 81 — 89.