

УДК 621.317.2

А. И. ЗАЙКО

ПРОБЛЕМЫ И КОНЦЕПЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Излагаются проблемы метрологического обеспечения информационно-измерительных систем для летных и стендовых испытаний авиационной техники. Для их решения разработан комплексный подход к определению погрешностей информационно-измерительных систем. Описаны опыт и перспективы применения такого подхода для летных испытаний систем катапультирования и стендовых испытаний газотурбинных двигателей, результаты конверсии его для направленного бурения скважин и признание полученных результатов. *Метрологическое обеспечение; погрешность; комплексный подход; летные и стендовые испытания; конверсия*

Информационно-измерительные системы (ИИС) незаменимы для испытаний авиационной техники. Поэтому капитальные затраты на средства измерения авиационной техники в авиационной промышленности СССР составляли 25–30% [1]. Еще больше затраты на измерения при космических исследованиях. Так, при осуществлении программы «Аполлон» США затратили на них свыше 40% стоимости всей программы. Для сложной боевой техники эта доля составляет до 50–60% от затрат на разработку, испытание, серийное производство и эксплуатацию.

Согласно [2] метрологическое обеспечение (МО) таких испытаний регламентируется отраслевыми нормативно-техническими документами (НТД) и стандартами предприятий.

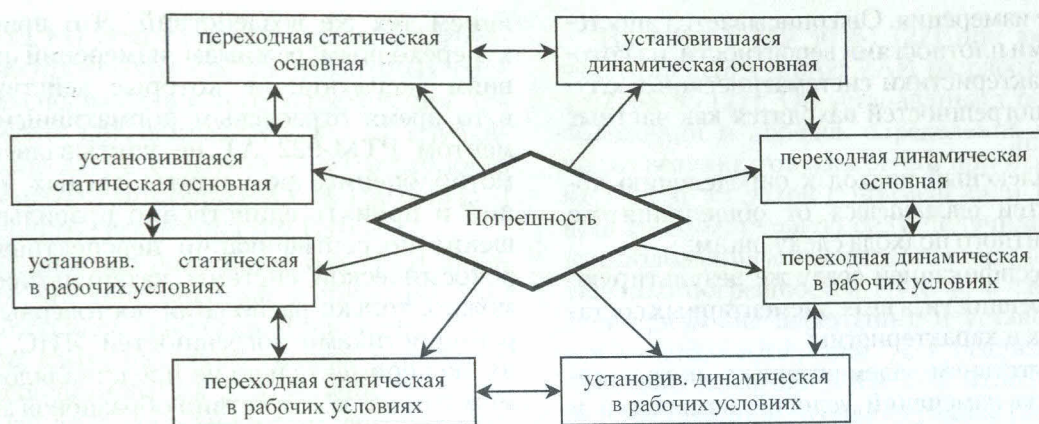
В статье рассмотрены актуальные проблемы МО испытаний авиационной техники и обобщен опыт применения для этой цели оригинального комплексного подхода к определению погрешностей ИИС.

ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Как правило, каждый влияющий на неточность измерительных каналов (ИК) ИИС фактор учитывается своей элементарной погрешностью. Так, основная погрешность учитывает внутреннюю нестационарность ИИС, проявляющуюся в чистом виде только в статическом режиме измерения при нормальных условиях эксплуатации. Дополнитель-

ные погрешности учитывают влияние каждого внешнего фактора отдельно в статическом режиме. Динамическая погрешность отражает влияние инерционности ИК в установившемся динамическом режиме [1, 2]. Для многозвенных ИК характеристики основной и дополнительной погрешностей находят суммированием характеристик одноименных погрешностей [2]. Оно осуществляется с учетом весовых коэффициентов статических погрешностей звеньев в погрешности ИК для трех типовых структур: последовательной, параллельной и замкнутой [1]. По полным динамическим характеристикам звеньев находят характеристики ИК, по которым затем по выбранным моделям измеряемых сигналов рассчитываются характеристики динамической погрешности ИК [2,3]. Если ИК работает в установившемся режиме измерения при рабочих условиях эксплуатации, то погрешность ИК находят суммированием одноименных характеристик основных, дополнительных и динамических погрешностей ИК [2]. Методические погрешности обработки показаний ИК в ИИС оцениваются отдельно и суммируются с инструментальными погрешностями [4]. При метрологических испытаниях и поверке средств измерений находят основные погрешности и динамические характеристики.

Анализ этого решения проблемы МО для испытаний авиационной техники показал неоднозначность деления погрешностей на элементарные составляющие. Элементарные погрешности не учитывают всех особен-



ностей информационных процессов в ИИС для испытаний авиационной техники, например, переходных режимов измерений и условий эксплуатации. Характеристики элементарных погрешностей находятся разными методами с использованием различных математических моделей их появления. Так, характеристики основной погрешности ИК находятся экспериментально, дополнительных погрешностей — расчетно-экспериментальным путем как разности между характеристиками статических погрешностей в рабочих и нормальных условиях эксплуатации, а динамической — расчетным путем по динамическим характеристикам и выбранной математической модели измеряемого сигнала. В результате этого установить зависимость между ними невозможно и учесть ее при суммировании элементарных погрешностей не удастся. При экспериментальном нахождении характеристик погрешностей используются специальные, образцовые сигналы и выделить элементарные погрешности невозможно. Отсутствуют методы и образцовые средства измерения для поверки ИК на адекватных реальным случайных сигналах [5]. По этим причинам примерно в 20% случаев точность ИИС при летных испытаниях была ниже требуемой, в 30% — диапазоны измерений ИИС не соответствовали диапазонам изменений параметров, в 30% — условия применения ИИС превосходили их рабочие условия эксплуатации и в 60% — динамические характеристики уступали требуемым [6].

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Решить указанные выше проблемы можно с помощью комплексного (общего) подхода к определению погрешностей ИИС. Его идея заключается в том, чтобы рассматривать погрешность ИИС как единое и неделимое це-

лое, трансформирующееся с изменением режимов измерений, условий эксплуатации и других факторов [5]. Комплексный подход включает в себя следующие положения:

1. Статическая погрешность рассматривается как частный случай динамической погрешности, когда изменением во времени измеряемого сигнала можно пренебречь и считать его скорость равной нулю, а значение — постоянным [5].

2. Погрешность в нормальных условиях измерения рассматривается как частный случай погрешности в рабочих условиях, когда влиянием внешних возмущающих воздействий можно пренебречь и считать их отсутствующими [5].

3. Установившаяся погрешность рассматривается как частный случай переходной погрешности, когда переходными процессами можно пренебречь и считать режим и условия измерения установившимися [5].

Описанная выше классификация погрешности по режиму измерений и условиям эксплуатации представлена на рисунке.

4. Погрешность каждого измерительного преобразователя в составе ИК рассматривается как частный случай погрешности ИК при замене остальных преобразователей идеальными звеньями. Аналогично, погрешность любой подсистемы ИИС рассматривается как частный случай погрешности ИИС при отсутствии погрешностей у остальных подсистем [5].

5. Методическая погрешность измерения рассматривается как частный случай инструментальной погрешности реализующего заданный алгоритм средства измерения при равенстве параметров последнего номинальным значениям [5, 7].

6. Погрешность измерения в любой момент времени рассматривается как неопределенность измерительного сигнала, оставшаяся

ся после измерения. Она описывается апостериорными плотностями вероятности, из которых характеристики систематической и случайной погрешностей находятся как частные случаи [5].

Комплексный подход к определению погрешностей *отличается* от общепринятого поэлементного подхода следующим:

- классификацией сразу же результирующей погрешности, а не ее элементарных составляющих и характеристик;
- отсутствием элементарных погрешностей из-за изменений условий измерений и инструментальной погрешности [8], которые не выделяются экспериментально;
- введением переходных и установившихся погрешностей режимов и условий измерений;
- методической погрешностью, распространенной на реализующие метод и алгоритм измерения средства и включающей погрешность метода измерения [19];
- отсутствием субъективного деления погрешностей на систематические и случайные.

Эти отличия обеспечивают следующие *преимущества* комплексного подхода перед поэлементным. Они позволяют:

- избавиться от суммирования элементарных погрешностей, которые нельзя выполнить корректно;
- упростить экспериментальное нахождение характеристик погрешностей;
- полнее учесть многообразие и особенности измерений при испытаниях авиационной техники;
- достоверно оценить точностные возможности измерений при испытаниях;
- с единой вероятностной позиции описать трансформацию погрешностей измерений, повысить объективность их оценок и хорошо согласуется с международной *концепцией неопределенности* измерений [9].

Покажем на конкретных примерах испытаний авиационной техники и при решении конверсионных задач, как реализуются эти преимущества.

ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ КАТАПУЛЬТИРОВАНИЯ

В 1977–85 годах проводились работы по анализу точностных возможностей ИИС для измерения параметров катапультирования. Они отличались от обычных средств измерения тем, что измеряли сугубо импульсные параметры и сами ИИС находились под влиянием тех же воздействий.

Это приводило к переходным режимам измерений и условиям эксплуатации, которые действующим в то время отраслевым нормативным документом РТМ-922 АТ не учитывались. Грамотно оценить результаты летных испытаний и принять единственно правильное решение по сертификации перспективной аэрокосмической системы катапультирования можно, только располагая достоверными характеристиками погрешностей ИИС. Найти их экспериментально не представлялось возможным из-за отсутствия образцовой аппаратуры. Остался лишь расчетный путь, базирующийся на комплексном подходе к определению погрешностей ИИС. Уже в процессе работы комплексный подход дополняется положением, учитывающим переходные и установившиеся режимы измерения и условия эксплуатации [5].

В процессе решения проблемы были разработаны адекватные математические модели, методы их анализа и идентификации, которые доведены до инженерного уровня. Снятые с ее помощью метрологические характеристики являлись исходными данными для расчета характеристик погрешностей аналоговых линейных ИК при распространенной в авиационной технике сквозной комплектной поверке ИИС.

При проектировании и ремонте ИИС необходимо знать распределение погрешностей системы между входящими в нее звеньями и долю погрешности каждого звена в погрешности системы. Это делалось с помощью методики расчета характеристик погрешностей многозвенных линейных аналоговых ИК типовых структур по характеристикам входящих в них звеньев.

Накопленный опыт применения указанных методик обобщен в МУ 688.001-85 [10]. Они предназначены для расчета характеристик погрешностей линейных и нелинейных аналоговых и аналого-цифровых многозвенных ИК в динамическом и статическом режимах измерений случайных и детерминированных сигналов. Утверждению МУ 688.001-85 [10] предшествовала всесторонняя экспериментальная проверка. На случайных процессах она стала возможна благодаря оригинальным способам и устройствам, из которых отметим [11, 12].

Относительные расхождения между результатами эксперимента и результатами расчета по МУ 688.001-85 не превысили для цифровых ИК 18,5%, а для аналоговых ИК —

21,9% [13, 14]. Это, с одной стороны, подтвердило работоспособность предложенных способов экспериментального определения характеристик погрешностей ИИС на случайных процессах, а с другой — достоверность рассчитанных с помощью МУ 668.001-85 [10] характеристик погрешностей ИИС.

Особенностью разработанных НТД является то, что они впервые в практике МО сопровождались пакетами прикладных программ на языке высокого уровня. Это позволило использовать их для решения следующих задач: анализа технических заданий, синтеза преобразователей в составе ИК, аттестации ИК при сдаче ИИС потребителю и в процессе эксплуатации ИИС [15].

Разработана и внедрена гамма способов и устройств повышения точности ИИС для летных испытаний. Прежде всего, это способы и устройство оптимальной градуировки УП-355, предназначенные для снятия оптимальных градуировочных характеристик линейных аналоговых измерительных преобразователей и каналов на случайных сигналах [5, 16–19]. Применение их позволило свести к минимуму сразу же результирующую погрешность ИИС в динамическом режиме.

Другим примером являются способ и устройство оперативного контроля метрологических характеристик электромеханических датчиков физических величин со стороны их электрических выходов [20, 21]. Они позволяют диагностировать метрологические отказы датчиков без демонтажа их с летательного аппарата и даже в процессе полета.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Практически одновременно велись работы по МО испытаний газотурбинных двигателей (ГТД) на переходных режимах. Эта перспективная ресурсосберегающая технология позволяет по результатам кратковременных испытаний в переходных режимах и математическим моделям высокопроизводительных ГТД рассчитать их технические характеристики для любых режимов работы. Они начались с разработки отраслевых МУ 97-84 [22]. В них вместе с упоминавшимися выше методиками вошла также «Методика экспериментального определения погрешностей ИК ИИС в динамическом режиме в точках шкалы», которая реализует оригинальный способ и позволяет находить условные вероятностные характеристики погрешностей ИК в динамическом режиме на случайных сигналах.

На основе МУ 97-84 [22] при активном участии специалистов УАИ разработан ОСТ 1 02563-85 [23]. Он устанавливает основные положения и порядок определения погрешности результатов измерений при испытаниях ГТД и их узлов с применением ИИС. В нем законодательную силу получили основные положения комплексного подхода к определению погрешностей ИИС и, в частности, специфические переходные и установившиеся режимы измерений. Для реализации на практике положений ОСТ 1 02563-85 [23] разработана инженерная методика [24] расчета характеристик погрешностей аналоговых и аналого-цифровых преобразователей, многозвенных ИК последовательной структуры в статических и динамических режимах измерений. Она сопровождается пакетом из 60 прикладных программ на языке высокого уровня. С помощью этой методики исследованы и аттестованы несколько ИИС, используемых при испытаниях ГТД.

На следующих этапах МО испытаний ГТД и их узлов согласно ОСТ 1 02563-85 [23] планировалось разработать методики и сопровождающие их пакеты прикладных программ для определения погрешности результатов измерений комплексных параметров, а также результатов косвенных, совместных и совокупных измерений. Теоретические исследования были проведены, но закончить работу при отсутствии финансирования не удалось.

Разработанные НТД были одобрены основным заказчиком авиационной техники. Так, Министерство обороны СССР включило в 1986 г. упоминавшуюся выше методику определения погрешностей ИИС в сборник типовых методик метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники.

КОНВЕРСИЯ И ПРИЗНАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанные НТД имеют и гражданское назначение. Их конверсия осуществлялась все это время параллельно. Так, в 1981 г. методы расчета и экспериментального нахождения характеристик погрешностей аналого-цифровых преобразователей включены Всесоюзным НИИ метрологии измерительных и управляющих систем НПО «Система» в межотраслевые рекомендации. В настоящее время комплексный подход к определению погрешностей пространственных измерений разрабатывается совместно с НИИ технических систем «Пилот» для управляемого

бурения наклонно направленных скважин. Разработана, прошла испытания и включена в Госреестр средств измерений оригинальная установка для поверки инклинометров УПИ-2 [25, 26].

Комплексный подход к определению погрешностей измерений используется в научных исследованиях и учебном процессе на кафедре ТОЭ УГАТУ. Так, он успешно применяется для совершенствования методов и алгоритмов измерения вероятностных и спектральных характеристик случайных процессов. Это позволило уточнить известные и предложить новые алгоритмы измерения, сопроводив их оценками точностных возможностей и рекомендациями по применению [27, 28].

Комплексный подход к определению погрешностей внедрен в оригинальные виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы по теории электрических сигналов, цепей и систем для подготовки магистров. Это позволило сопроводить результаты измерения количественной оценкой их точности и достоверности, научить будущих магистров оптимальному планированию измерительных экспериментов. Исследователями эти работы названы потому, что позволяют исследовать влияние режимов и параметров измерений (шага дискретизации, объема выборки и т. д.) на достоверность измеряемых характеристик. Кроме того, они освобождают магистрантов от рутинной работы по оформлению отчетов и концентрируют их внимание на осмысление и интерпретацию полученных результатов [29, 30].

Разработанные методы и НТД получили признание у нас в стране и за рубежом. Так, на Всесоюзном конкурсе Минвуза СССР на лучшую научную работу, завершённую в 1983–85 годах, НИР «Разработка и внедрение методов определения и уменьшения погрешностей адаптивных информационно-измерительных систем для летных испытаний авиационной техники» заняла 4-е место по разделу «Авиационная техника». В 1988 году за комплекс НТД по МО испытаний ГТД УАИ награжден дипломом Почета ВДНХ СССР. Основные результаты работы получили «Признание» на X и XVII Всемирных Конгрессах ИМЕКО в Праге [31] и Дубровнике [32], удостоены специального приза на международном симпозиуме «Engine Health Monitoring-93» в Санкт-Петербурге [33]. Работавшие над этой проблемой специалисты УГАТУ награждены 16 медалями ВДНХ СССР. Виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы

дважды отмечались на Республиканских конкурсах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, накоплен значительный опыт в области МО уникальных ИИС, используемых для летных и стендовых испытаний авиационной техники при контроле их качества и сертификации. Он возник на стыке оригинальных методов анализа и способов идентификации ИИС на случайных процессах. Внедрение этих работ позволило существенно увеличить достоверность расчета характеристик погрешностей ИИС и в 2–10 раз повысить их точность.

Использование и расширение этого опыта в дальнейшем позволит успешно решить проблему повышения качества авиационной техники и вооружения нового поколения, сокращения длительности и снижения стоимости её испытаний. Поэтому он должен быть востребован при формировании и выполнении Государственного оборонного заказа [34].

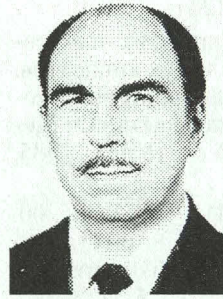
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Знаменская А. М., Лимар П. С., Шведов В. П.** Информационно-измерительные системы для летных испытаний самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1984. 152 с.
2. **ГСИ.** Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений: Нормативно-технические документы (ГОСТ 8.009-84; Методический материал по применению ГОСТ 8.009-84; РД 50-453-84). М.: Изд-во стандартов, 1985. 152 с.
3. **Баранов Л. А.** Способ оценки динамических ошибок при измерении аналоговых сигналов // Матер. докл. отрасл. конф. по информационно-измерительным системам (ИИС-87). М.: ЛИИ, 1988. С. 147–153.
4. **Цветков Э. И.** Основы теории статистических измерений. М.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
5. **Зайко А. И.** Точность аналоговых линейных измерительных каналов ИИС. М.: Изд-во стандартов, 1987. 136 с.
6. **Баранов Л. А., Хромов В. И.** Основные задачи и пути развития информационно-измерительных систем для летных испытаний авиационной техники // Матер. докл. отрасл. конф. по информационно-измерительным системам (ИИС-87). М.: ЛИИ, 1988. С. 4–16.
7. **Зайко А. И.** О методических и инструментальных погрешностях измерительных систем // Измерительная техника. 1992. № 4. С. 5–6.
8. **РМГ 29-99 ГСИ** Метрология. Основные термины и определения. Введ. 01.01.2001. М.: Изд-во стандартов, 2000. 46 с.

9. **Руководство** по выражению неопределенности измерения / Пер. с англ. СПб.: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1999. 128 с.
10. **МУ 688.001-85.** Система единства измерений при испытаниях летательных аппаратов. Расчет погрешностей информационно-измерительных систем для летных испытаний: Метод. указания. М.: ЛИИ; Уфа: УАИ, 1985. 112 с.
11. **А.с. 1170881** СССР, МКИ4 GOIR 35/00. Способ определения зависимости статистических погрешностей измерительных устройств от внешних воздействий / А. И. Заико. № 3702921/24-21; Заявл. 20.02.84. 7 с.
12. **Пат. 2024890** СССР, МКИ G01R 35/00. Устройство для определения статистической погрешности измерительных устройств / А. И. Заико. (РФ). № 4867431/21; Заявл. 14.09.90; Оpubл. 15.12.94. Бюл. № 23. 4 с.
13. **Заико А. И., Зильберман Г. А. и др.** Расчетное и экспериментальное определение погрешностей АЦП в динамическом режиме при преобразовании случайных сигналов // Цифровая информационно-измерительная техника: Межвуз. сб. науч. тр. Пенза: ППИ, 1984. С. 65–69.
14. **Грязин А. В., Заико А. И., Сахибгареев А. Х. и др.** Экспериментальная проверка общего подхода к определению погрешностей измерительных преобразователей в переходных режимах // Теория и проектирование систем автоматического управления и их элементов: Межвуз. сб. науч. тр. Уфа: УГАТУ, 1996. С. 143–148.
15. **Заико А. И., Тимербаев В. К.** Комплекс методик и пакетов прикладных программ для расчета погрешностей измерительных каналов ИИС // Измерительная техника. 1991. № 2. С. 7–8.
16. **А.с. 1071982** СССР, МКИ3 GOIR 35/00. Способ определения градуировочной характеристики измерительного устройства / А. И. Заико (СССР). № 3480002/18-21; Заявл. 03.08.82; Оpubл. 07.02.84. Бюл. № 5. 3 с.
17. **А.с. 1071983** СССР, МКИ3 GOIR 35/00. Способ определения градуировочной характеристики измерительного устройства / А. И. Заико (СССР). № 3480003/18-21; Заявл. 03.08.82; Оpubл. 07.02.84. Бюл. № 5. 3 с.
18. **А.с. 1375343** СССР, МКИ4 GOIR 35/00. Устройство для градуировки средств измерений / А. И. Заико, В. М. Лисовский, В. П. Шведов и др. (СССР). № 3922074/24-21; Заявл. 03.07.85; Оpubл. 07.12.86. Бюл. № 45. 3 с.
19. **Заико А. И., Перминов К. Г., Филипов В. О.** Проверка датчиков на случайных сигналах // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик-2002»: Матер. XIV НТК с участием заруб. спец. М.: МГИЭМ, 2002. С. 280–281.
20. **А.с. 1699335** СССР, МКИ4 H04R 29/00. Способ контроля электромеханических датчиков / А. И. Заико, В. К. Тимербаев (СССР). № 4667134/10; Заявл. 12.01.89. 4 с.
21. **Заико А. И., Тимербаев В. К.** Оперативная диагностика датчиков ИИС для летных испытаний с помощью измерителя параметров комплексных сопротивлений // Матер. отрасл. НТК по информационно-измерительным системам, применяемым при летных испытаниях авиационной техники. Жуковский: ЛИИ, 1988. С. 98–101.
22. **МУ 97-84.** Методы, алгоритмы и программы определения погрешности результатов испытаний ГТД. Общие требования: Метод. указания. 1984. 43 с.
23. **ОСТ 1 02563-85.** ОСИ. Определение погрешности результатов измерений при испытаниях ГТД и их узлов с применением информационно-измерительных систем. Основные положения: Введ. 01.01.87. 1986. 12 с.
24. **Система** единства измерений при испытаниях ГТД. Расчет погрешности информационно-измерительных систем для испытаний ГТД на переходных режимах: Методика / Рук. А. И. Заико. УАИ, Филиал ЦИАМ, 1988. 91 с.
25. **Пат. 2178522** РФ, МКИ E21B 47/02, G01C 9/00. Установка для настройки и экспериментальных исследований инклинометров / Р. И. Алимбеков, А. И. Заико (РФ). № 99122810/03; Заявл. 01.11.99; Оpubл. 20.01.02. Бюл. № 2. 9 с.
26. **Алимбеков Р. И., Баймуратов Ю. Г., Заико А. И. и др.** Установка для проверки инклинометров УПИ-2 // Измерительная техника. 2002. № 11. С. 23–24.
27. **Заико А. И.** Теория точности статистических и спектральных измерений // Вестник УГАТУ. 2000. № 2. С. 175–182.
28. **Zaiko A. I., Zaiko N. A.** Relevance of spectral-and-statistic data processing // Proc. of the 5th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Ufa: USATU, 2003. V. 1. P. 250–254.
29. **Электрические** сигналы: Метод. указания к выполнению виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ / Сост. А. И. Заико. Уфа: УГАТУ, 2001. 35 с.
30. **Заико А. И.** Виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы // Современные технологии обучения: Матер. докл. VI Междунар. конф. СПб.: МАН ВШ, ЛЭТИ, 2000. Ч. 1. С. 136.
31. **Zaiko A., Kulikovski L.** Present state and perspectives of the definition and reduction of errors in information measuring system // X IMEKO World Congress. 1985. Praga: CSVTS, IMEKO, 1985. V. 7. P. 145–152.
32. **Zaiko A., Zaiko N.** Accuracy of statistic and spectral measurements // XVII IMEKO World Congress 2003. Croatia, Dubrovnik: HMD Croatian Metrologi Socty, 2003. P. 144.

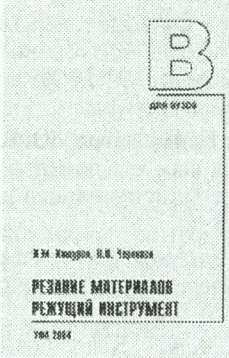
33. **Zaiko A., Zaiko N., Sakhigareyev A.** Methods and software for calculation of errors in measuring channels of aviation engine control systems // Engine Health Monitoring-93: Proc. of the Int. Meeting. M.: CIAM, 1993. P. 14-01-04.
34. **Заико А. И.** Проблемы и опыт метрологического обеспечения испытаний авиационной техники и вооружения // Проблемы качества оборонной продукции предприятий Российской Федерации при формировании и выполнении Государственного оборонного заказа: Сб. докл. конф. Пенза: НИИФИ, 2001. С. 81-85.

ОБ АВТОРЕ



Заико Александр Иванович, проф. каф. теоретич. основ электротехники. Дипл. инж. электронной тех-ки (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по информац.-измерит. системам (ЛЭТИ, 1990). Заслуж. изобретатель РБ. Иссл. в обл. метрологич. обеспечения, анализа и синтеза информац.-измерит. систем.

Сигнальная информация



В. М. Кишуров, П. П. Черников

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Режущий инструмент

Учебное пособие

Уфа: УГАТУ, 2004

268 с. Табл. 14. Ил. 143. Библиогр.: 28 назв. ISBN 5-86911-460-8

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. Кузнецов; В. Н. Ипполитов

Изложены основные положения процесса резания металлов, Вопросы формирования обработанной поверхности, общие представления о конструкции и геометрии режущего инструмента для отдельных видов обработки (точения, фрезерования, протягивания, сверления, шлифования и др.), об использовании современных СОТС и механизме их действия при механической обработке, общие представления о конструкции и геометрии режущего инструмента, используемого в мехатронных станочных системах.

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».