

На правах рукописи

Хиноева Ольга Борисовна

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ
УЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ КАЛИБ-
РОВКЕ УГЛОМЕРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Специальность 25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2007

Работа выполнена на кафедре геодезии в Московском Государственном
Университете Геодезии и Картографии «МИИГАиК»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Н.Х.Голыгин

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Х.К. Ямбаев

Официальные оппоненты: доктор технических наук А.С.Масленников
кандидат технических наук В.П.Серебряков

Ведущее предприятие: Сибирская Государственная Геодезическая Академия

Защита диссертации состоится « 31 » мая 2007 г. в 12 часов на заседании
диссертационного совета Д.212.143.03. при Московском Государственном
Университете Геодезии и Картографии «МИИГАиК» по адресу 105064,
Москва, Гороховский пер., 4 (ауд.321).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского Государ-
ственного Университета Геодезии и Картографии «МИИГАиК»

Автореферат разослан «_____» _____2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации. В настоящее время в области геодезических измерений наблюдается переход от оптических методов измерений к оптико-электронным. При этом развитие и совершенствование угломерных приборов, возрастающие требования к их точности и надежности, а также автоматизация процесса измерений с их помощью приводят к необходимости создания новых методов и средств контроля метрологических характеристик таких приборов. Все это требует дальнейшего повышения точности их поверки и калибровки, что является на данный момент **актуальной задачей**.

Погрешности измерительных систем оптико-электронных угломерных геодезических приборов имеют сложную зависимость, которая до конца не изучена и может быть выявлена только в результате экспериментальных исследований. Кроме того, современные угломерные приборы основываются на разных физических принципах, структура погрешности их во многом не изучена.

Известные эталонные средства измерений для калибровки и исследований угломерных геодезических приборов не дают полной информации о суммарной погрешности поверяемого средства измерения, т.к. как в них нет возможности исследования короткопериодических (внутришаговых) погрешностей измеряемых углов. Кроме того, не удастся избежать основной проблемы, возникающей при согласовании осей поверяемого и эталонного средств измерений - рассогласования осей. Величина рассогласования осей не является постоянной из-за нестабильности взаимного положения основных механических узлов устройства и из-за изменения внешних условий. Отсюда возникает необходимость постоянной трудоемкой юстировки стенов и определения случайной погрешности измерений.

Таким образом, необходима разработка таких методов и средств калибровки и поверки оптико-электронных приборов, которые позволяют оперативно выявить и учесть погрешности эталонных средств измерений, при этом следует обратить внимание на стабильность взаимного положения основных

узлов и несущей конструкции, а также упрощение конструкции всего стендового оборудования.

Следовательно, задачи создания универсального стендового оборудования для метрологических исследований современных угломерных приборов, уменьшения времени и упрощения процедуры выявления систематической погрешности системы «стенд-прибор» и ее учета являются на данный момент актуальными. Это в свою очередь диктует необходимость поиска принципиально нового метода обработки данных и их анализа.

На этом пути в настоящее время наиболее перспективным является использование информационных технологий с элементами искусственного интеллекта на базе нейроинформатики.

Нейросетевые модели рассматриваются как самостоятельные средства обработки информации, вне связи с существующими информационными системами и технологиями.

Целью работы является разработка и применение нейросетевых алгоритмов учета погрешностей эталонных средств при калибровке угломерных геодезических приборов.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **научные задачи**:

1. Анализ погрешностей оптико-электронных геодезических приборов для угловых измерений.
2. Анализ известных на данный момент поверочных методик и стендов.
3. Разработка соответствующей методики испытаний на эталонном угломерном стенде.
4. Разработка методики выявления и коррекции систематических погрешностей системы «угломерный преобразователь - призма» и системы «тахеометр-призма» эталонного стенда с использованием нейронной сети и нейросетевого алгоритма.

Объект исследования - эталонные средства калибровки угломерных геодезических приборов на примере ситаловой призмы-многогранника и прецизионного угломерного преобразователя.

Методика исследования

Выполненные в диссертационной работе исследования основаны на анализе литературных данных, выполнении теоретических и практических исследований и экспериментальной проверке достоверности этих результатов. Обработка результатов измерений и их анализ выполнены на основе методов математической статистики и теории искусственных нейронных сетей.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена новая методика испытаний на разработанном в МИИГАиК эталонном угломерном стенде, обеспечивающая возможность поверки и калибровки многофункциональных геодезических средств измерений с одной установки прибора.

2. На основе нейросетевых технологий разработана методика, позволяющий выявлять и корректировать систематические погрешности системы «угломерный преобразователь-призма» и системы «тахеометр-призма».

3. Разработана методика с использованием нейросетевого алгоритма, позволяющая выявить и учесть не только погрешности стенда, но и погрешности исследуемого прибора.

Практическая значимость работы:

1. По результатам исследований диссертанта на методику измерений университетом подана заявка на изобретение.

2. Разработанные угломерный стенд и алгоритмы учета погрешностей использованы в поверочной установке МИИГАиК УМК-М, на которую от Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии получен Сертификат об утверждении типа средства измерений.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на четырех научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых

(МИИГАиК, 2004-2007 гг.), на научно- технической конференции « НТТМ-2006»(г.Москва: ВВЦ) в 2006 г., на 3-ем Международном промышленном форуме GEOFORM+ 2006 (г.Москва: "Сокольники", 2006г.), на международном научном конгрессе "ГеоСибирь-2006"(г.Новосибирск), на международной выставке - конгрессе INTERGEO 2006 (Германия, г.Мюнхен, 2006г).

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ.

Объем и структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников информации, содержащего 63 наименования. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, 5 таблиц и 12 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и основные направления исследований; сформулирована цель работы и ее научная новизна.

Первая глава. В ней рассмотрены общие характеристики угломерных геодезических приборов. Рассмотрена структура погрешностей оптических и оптико-электронных геодезических приборов при проведении угловых измерений. Проведен анализ общей структуры погрешностей оптических и оптико-электронных геодезических приборов, в результате которого составлена структура суммарной погрешности прибора. Приведена классификация погрешностей. На схемах представлены составляющие погрешности ориентирования, погрешности отсчитывания и погрешности за счет внешних условий и временных факторов.

По результатам анализа имеющихся публикаций был сделан вывод в необходимости оперативного выявления и учета суммарной погрешности углоизмерительных станций при поверке и калибровке приборов. Выявлено,

что в связи с функциональной зависимостью отдельных составляющих погрешностей необходимо уменьшить шаг дискретизации поверяемых углов.

Представлен анализ существующих методов и средств поверки и калибровки горизонтального круга геодезических приборов. Рассмотрены основные требования к контрольно-измерительным средствам, используемым при поверке геодезических угломерных приборов. Описаны устройства и основные характеристики различных стендов, используемых для исследования горизонтальных измерительных систем.

Недостатки рассмотренных коллиматорных и аналогичных им стендов – относительно большой интервал дискретизации углов, сложность автоматизации процесса измерений, а также сложность и громоздкость конструкции. При согласовании осей поверяемого и эталонного средств измерений сложно обеспечить стабильность взаимного положения основных механических узлов устройства из-за изменения внешних условий. Отсюда возникает необходимость постоянной трудоемкой юстировки стендов при выявлении погрешности измерений поверяемого средства измерения.

Анализ известных стендов, применяемых при калибровке и поверках геодезических угломерных приборов, показывает, что наиболее соответствующим для этих целей, является разработанная при участии автора в МИИГАиК поверочная установка УМК-М, включающая стенд для поверки и калибровки горизонтальных кругов геодезических угломерных приборов.

Вторая глава. Рассмотрены технические основы двух методов аппроксимации систематической погрешности. Один из методов – классический - аппроксимация функции преобразования угла осуществляется тригонометрическим рядом, второй - новационный в области обработки геодезических измерений, заключающийся в привлечении нейросетевых алгоритмов. Проанализирована теория искусственных нейронных сетей. Подробно рассмотрены структура и свойства формального нейрона – основного элемента нейросети, осуществляющего операцию нелинейного преобразования суммы произведений входных сигналов на весовые коэффициенты. В качестве оператора не-

линейного преобразования могут использоваться различные функции активации, которые определяются в соответствии с решаемой задачей и типом нейронной сети.

Проведены исследования различных архитектур искусственных нейронных сетей (ИНС), их области применения. Для применения в области измерений наибольшее распространение получили сети с прямой связью, одним или более скрытыми слоями и обучающими алгоритмами обратного распространения погрешности. Процесс обучения ИНС рассматривается как настройка архитектуры сети и весов связей, чтобы для некоторого множества входов давать желаемое множество выходов. Эффективность обучения ИНС зависит от решения вопроса о конфигурации сети: о количестве слоев и элементов в каждом из них. Количество входных и выходных элементов определяется условиями задачи, а число слоев и число элементов в каждом слое определяется сложностью реализуемой функции. На основании проведенного анализа приведены рекомендации по выбору конфигурации нейросети и начальной инициализации весовых коэффициентов нейронов.

Показано, что за последние 10-12 лет возник новый раздел вычислительной математики - нейроматематика, связанный с разработкой методов и алгоритмов решения задач в нейросетевом логическом базисе (НЛБ). Эффективность применения ИНС в области геодезических измерений объясняется тем, что они представляют собой мощный инструмент нелинейной аппроксимации. Из анализа следует, что ИНС имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами обработки информации. Адаптивность структуры ИНС, получающей информацию, позволяет:

- обобщать и обрабатывать неполные и сильно искаженные данные;
- обучать и фиксировать полезные связи в сложном взаимодействии входных и выходных сигналов;
- одновременно и быстро выполнять многочисленные похожие и не зависящие операции.

Третья глава. В этой главе описан стенд для поверки и калибровки горизонтальных кругов геодезических угломерных приборов, входящий в разработанную в МИИГАиК поверочную установку УМК-М.

Стенд (рис.1) позволяет производить измерения для выявления погрешностей электронной системы считывания горизонтального круга: интерполяции, старения, временной нестабильности узлов и элементов.

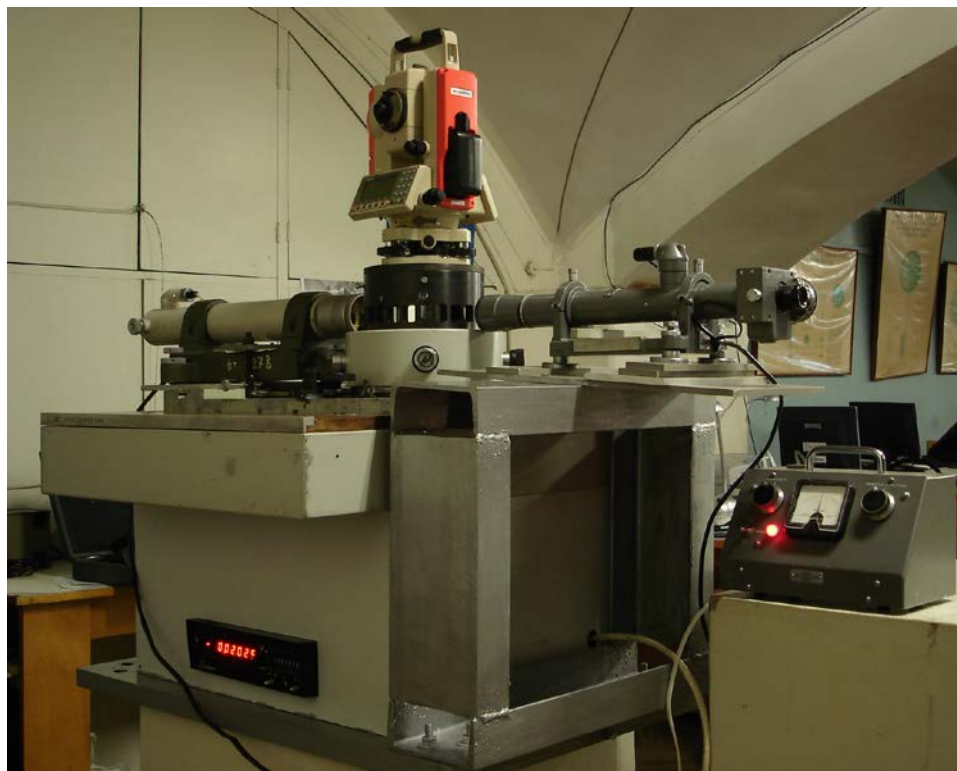


Рис.1. Поверительная установка для контроля угломерных приборов

Влияние динамических воздействий (сотрясений, микровибраций) сведено к минимуму за счет установки стенда на изолированном железобетонном фундаменте. Стенд позволяет с одной установки прибора обеспечить единую метрологическую базу при поверках всех исследуемых метрологических характеристик приборов. Структура и использование в стенде эталонных средств измерений позволяет выводить результаты измерений непосредственно со стенда на ПК и автоматически учитывать выявленную инструментальную погрешность стенда при последующих циклах измерений.

Схема поверочной установки для исследования угловых измерительных систем с одним автоколлиматором представлена на рис.2.

Устройство основано на использовании механизма известного в машиностроении высокоточного кругломера мод.299. На станине расположен вращающийся столик 1, на котором установлена и закреплена стальная обойма – барабан 9 с 24 окнами, размеры которых 18×12 мм. В нижней части обоймы, на ее основании расположена эталонная стеклянная 24-х гранная призма 2, укрепленная во втулке с центрирующей осью. Ось призмы перпендикулярна оптической оси автоколлиматора 7 и коллиматора 6. На верхней плоскости обоймы крепится плита 17, на которой устанавливается исследуемый прибор 3, для его центрирования относительно оси призмы пластина имеет возможность перемещения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Во внутренней полости кругломера размещена специальная муфта 5 для соединения стола с прецизионным угловым преобразователем, выполняющим функции информационной связи между ними и устройствами ЧПУ и цифровой индикации. Корпус преобразователя изготовлен из нержавеющей стали и крепится к объекту с помощью винтов. Соединение с валом объекта осуществляется посредством компенсационной муфты.

Плавность подхода поворотного стола в настоящее время обеспечивается с помощью устройства, состоящего из типовой фрикционной передачи (два катка – ведущий и ведомый). Усилие поджатия катков друг к другу осуществляется пружиной.

Поворотный стол установлен на вращающейся на насыпном подшипнике 10 (диаметры шариков подобраны с отклонением диаметра не более 1 мкм) планшайбе, диаметр образующей дорожки которой 270 мм. Биение диаметра подшипников может приводить к наклону поворотного стола в вертикальной плоскости на $0,7''$. Половина отклонения ($0,4''$) может быть компенсирована наклоном поворотного стола рукоятками 14 при окончательном горизонтировании стенда.

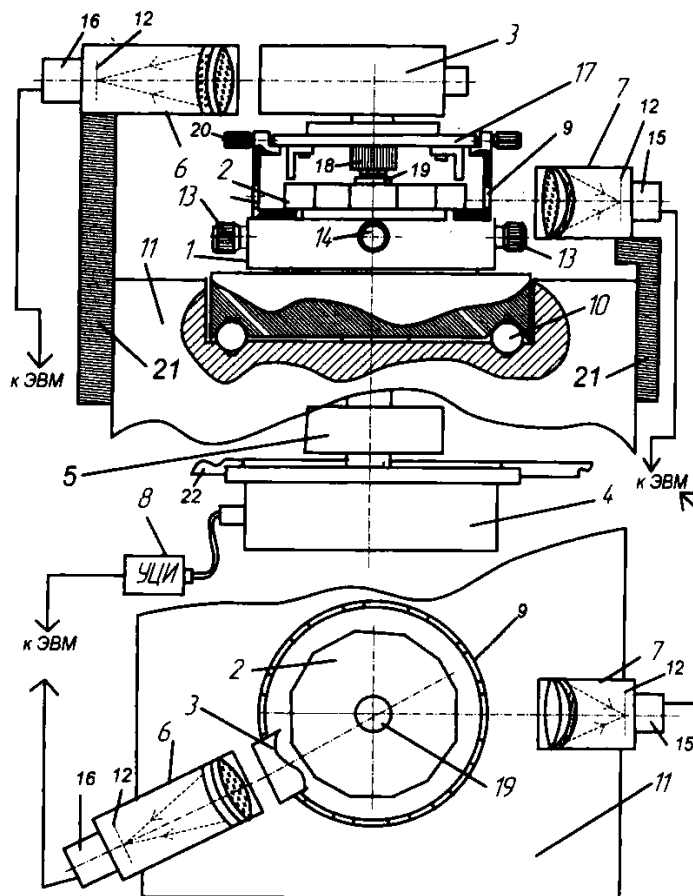


Рис.2. Принципиальная схема комплекса для исследований круговых измерительных систем геодезических приборов: 1 – поворотный стол; 2 – призма-многогранник, 3 – исследуемый прибор; 4 – прецизионный угловой преобразователь; 5 – соединительная муфта K01; 6 – коллиматоры; 7 – автоколлиматор; 8 – устройство цифровой индикации; 9 – барабан; 10 – насыпной подшипник, 11 – станина, 12 – сетки нитей автоколлиматоров; 13 – две рукоятки для центрирования исследуемого прибора, 14 – две рукоятки для горизонтирования исследуемого прибора, 15 и 16 – WEB-камеры; 17 – плита; 18 – становой винт; 19 – ось призмы-многогранника; 20 – юстировочные винты; 21 – кронштейны; 22 – прецизионного углового преобразователя.

Центрирование поворотного стола относительно оси вращения планшайбы осуществляется центрировочными винтами 13, центрирование исследуемого прибора 3 относительно оси вращения поворотного столика выполняется измерительными головками типа МИГ с ценой деления 1 мкм оптика-тором с ценой деления 0,1 мкм или индуктивным преобразователем.

Ось вращения углового преобразователя и ось вращения призмы многогранника относительно оси вращения стола была выставлена индуктивным датчиком мод. 276, дискретность которого составляет 1 мкм.

Для исследования внутришаговой погрешности измерений использован прецизионный угловой преобразователь перемещений. С помощью призмы определяется погрешность в 24 точках.

Метод поверки и калибровки заключается в использовании углового преобразователя для исследования короткопериодической погрешности измерений систем горизонтальных кругов геодезических приборов. При этом угловой преобразователь должен иметь дискретность отсчитывания меньше дискретности поверяемого прибора.

Методика поверки и калибровки горизонтальных углов предполагает два варианта:

1. Поверка и калибровка приборов, имеющих погрешность измерения $1 \div 2$ угл. сек.,
2. Поверка и калибровка приборов, имеющих погрешность измерения 5 угл. сек. и более.

В первом случае в качестве эталонного средства измерения используется как призма-многогранник, так и прецизионный угловой преобразователь. Поверка и калибровка выполняется сравнением измеренных углов призмы поверяемым прибором с соответствующими углами между гранями призмы, которые получены при ее поверке. При этом возможность выявления короткопериодической погрешности прибора между известными значениями углов 24-х гранной призмы осуществляется использованием углового преобразователя.

Во втором случае в качестве эталонного средства измерения используется прецизионный угловой преобразователь. При необходимости иметь количество исследуемых точек более 24-х сначала по призме калибруется прецизионный угловой преобразователь, затем по его калибровочной характеристике интерполируются значения углов в поверяемых точках.

Алгоритм проведения измерений приведен на рисунке 3.

Были проведены исследования погрешности, вызванной несоосностью системы «угловой преобразователь– призма-многогранник», «тахеометр – призма-многогранник» и « тахеометр- угловой преобразователь» . При исследованиях использовались прецизионный угловой преобразователь ROD-800 (фирма «HEIDENHEIN»ФРГ) и тахеометр TPS System 1000. Для ROD-800 была сделана выборка, включающая в себя 11 серий измерений, а для TPS System - 9.

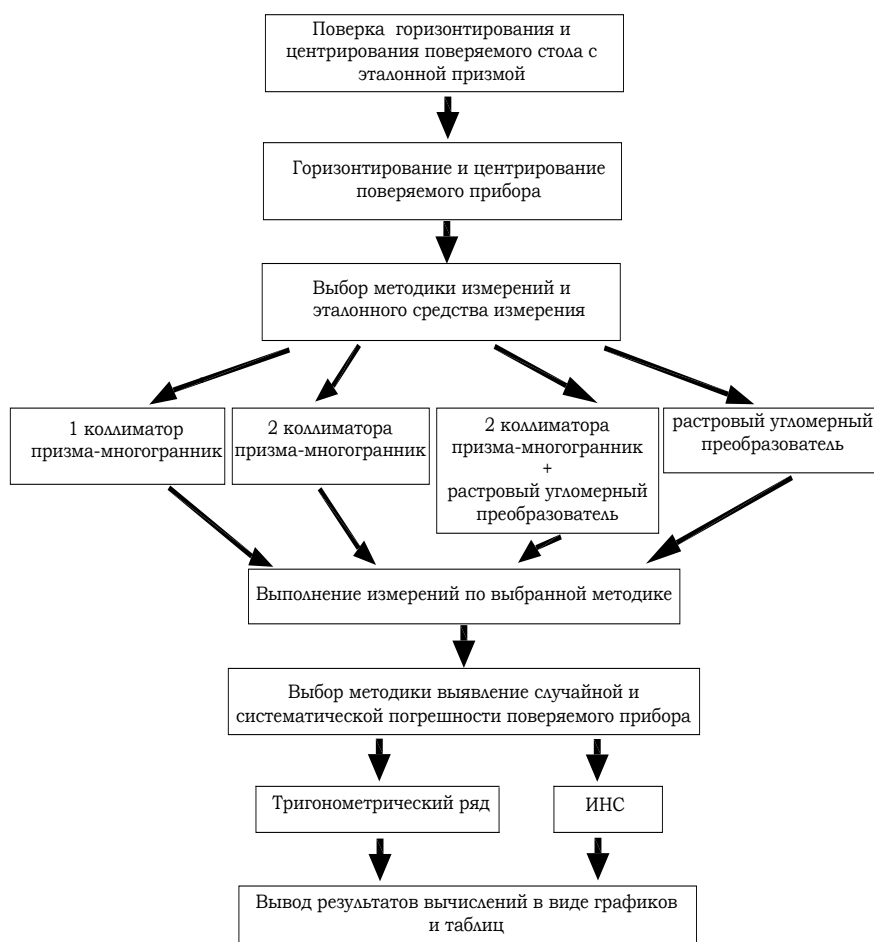


Рис. 3.

СКП определения угла угловым преобразователем ROD-800 из 11 приемов на всех гранях призмы составляет $0,15''$, а СКП определения угла тахеометром из 9 приемов на всех гранях призмы - $0,28''$.

Результаты исследований из многократных измерений показаны в виде графиков, представленных на рис. 4 и 5, систематических погрешностей

ROD-800 и TPS System 1000, получаемым путем сравнения значений, снятых по ROD-800 и TPS System 1000 с призмой. На рис.6 представлен график систематических погрешностей, полученных по разностям показаний TPS System 1000 на всех гранях призмы с показаниями углового преобразователя ROD-800 на тех же гранях.

Методика измерений заключается в наведении на опорное направление, задаваемое автоколлиматором, отсчитыванию по коллиматорам, при наведении на диаметрально противоположенные грани, отсчитыванию по электронному тахеометру TPS System 1000 и по угловому прецизионному преобразователю ROD-800. Измерения выполняются с замыканием на первую грань призмы.



Рис.4.

Графики на рис.4, 5 и 6 показывают наличие устойчивой систематической погрешности, при этом погрешность на обоих графиках имеет постоянный характер, определенный знак и величины, однообразно повторяющиеся.

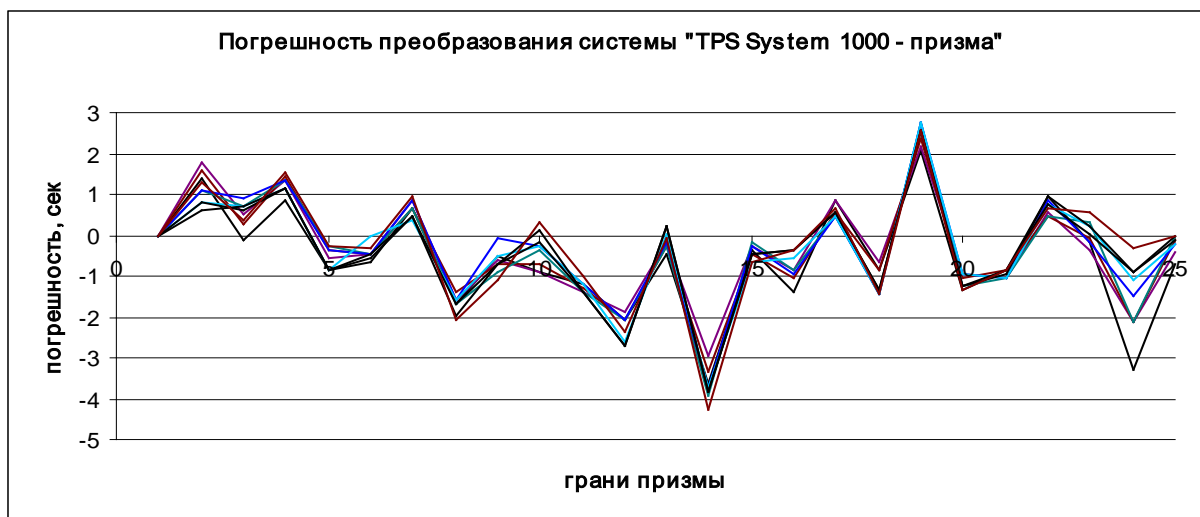


Рис.5.

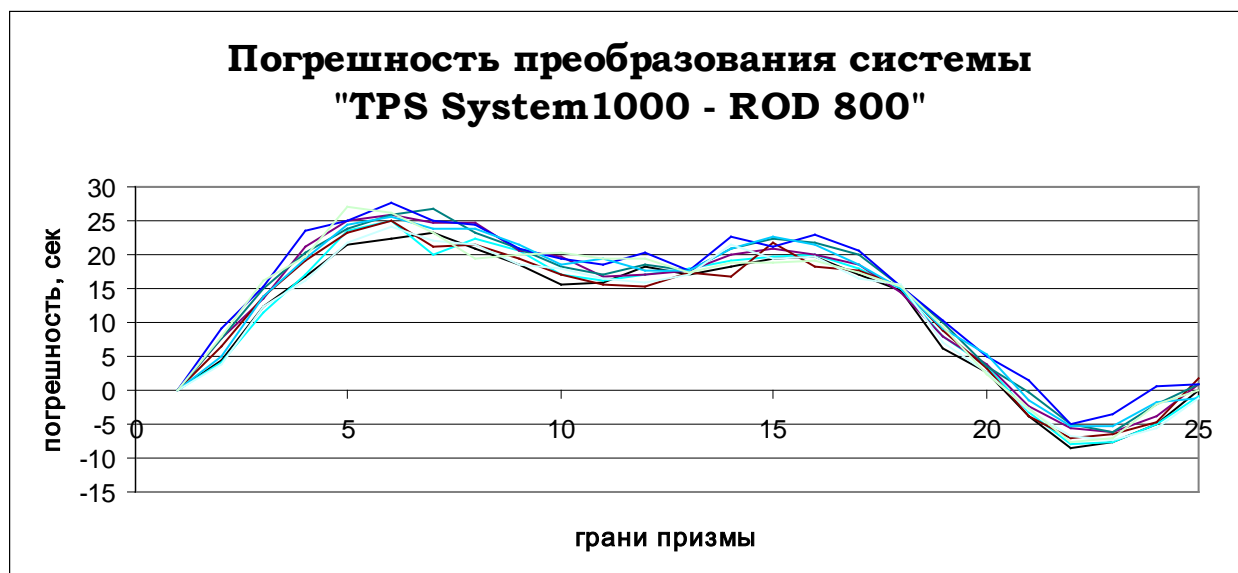


Рис.6.

Из характеристик кривых, полученных на графиках, следует, что погрешность, вызванная несоосностью системы «ROD-800 - призма» больше той же самой величины в системе «TPS System 1000-призма».

Влияние этой погрешности можно ослабить тщательной проверкой прибора, на котором проводились измерения, разработкой соответствующей методики исследования и обработки, или же введением поправок в результаты измерений. При измерениях, проводимых на угломерном стенде, был задей-

ствован механизм микронной подачи, дающий возможность фиксировать повороты углового преобразователя с отклонением до 1-2".

Одна из составляющих систематической погрешности может быть вызвана неточными формами и размерами тел качения и опорных поверхностей, а также от наличия и размеров зазора между деталями. Неточность опорных поверхностей проявляется в подшипнике в виде систематической погрешности, повторяющейся с каждым оборотом. Для исключения этой составляющей необходимо добиться исключения зазоров и принудить тела качения перемещаться по строго заданным траекториям.

Представлены разработка и исследование методов аппроксимации погрешностей эталонных средств калибровки систем измерения углов.

Одним из возможных вариантов обработки результатов измерений при создании испытательного оборудования является аппроксимация систематической погрешности тригонометрическим рядом, являющимся частным случаем ряда Фурье. Этот вариант широко распространен, но при этом требует большого числа измерений и времени, соответствующего дорогостоящего оборудования и определенных условий.

Однако, данный метод обработки хорошо использовать, имея достаточное большое количество данных, при меньшем количестве данных он занимает большое количество времени и вычислений, следовательно необходимо найти новый подход к обработке данных, позволяющий сократить время вычислений. Одним из таких методов является нейросетевая алгоритмизация процесса, что далее и будет показано.

В качестве примера исследования выбран эксцентриситет, который трудно учесть механически, но вполне удачно можно учесть за счет применения нейросетевых алгоритмов.

Очень часто показания величин, полученных при измерениях, принято представлять в виде сигналов. Для решения задачи нормализации выходных сигналов эксцентриситета необходимо проведение нейросетевой процедуры аппроксимации, заключающейся в выборе структуры и обучения ИНС, способной сгладить искажения входного сигнала (реально полученные результаты

измерений) и получить очищенный (идеальный, в нашем случае- результаты калибровки призмы) сигнал на выходе.

В качестве исходных данных выбираем все те же результаты экспериментов для системы « ROD-800- призма», «TPS System 1000-призма», «TPS System 1000 - ROD-800».

Для решения задачи построена многослойная ИНС следующей архитектуры (рис.7):

-1 слой распределительный- 2 нейрона, на которые подаются данные из обучающей выборки в виде: $[\sin]_i$ и $[\cos]_i$.

-2 скрытый слой- 10 нейронов с функцией активации - гиперболический тангенс. Выходные значения нейронов скрытого слоя определяются следующим образом:

$$y_i = \sum_{i=1}^{10} W_i \tanh(sv_i + v_{ci} \cos(\varphi_i) + v_{si} \sin(\varphi_i)), \quad (1)$$

где i -номер нейрона в скрытом слое.

- 3 выходной слой – 1 нейрон с линейной функцией активации.

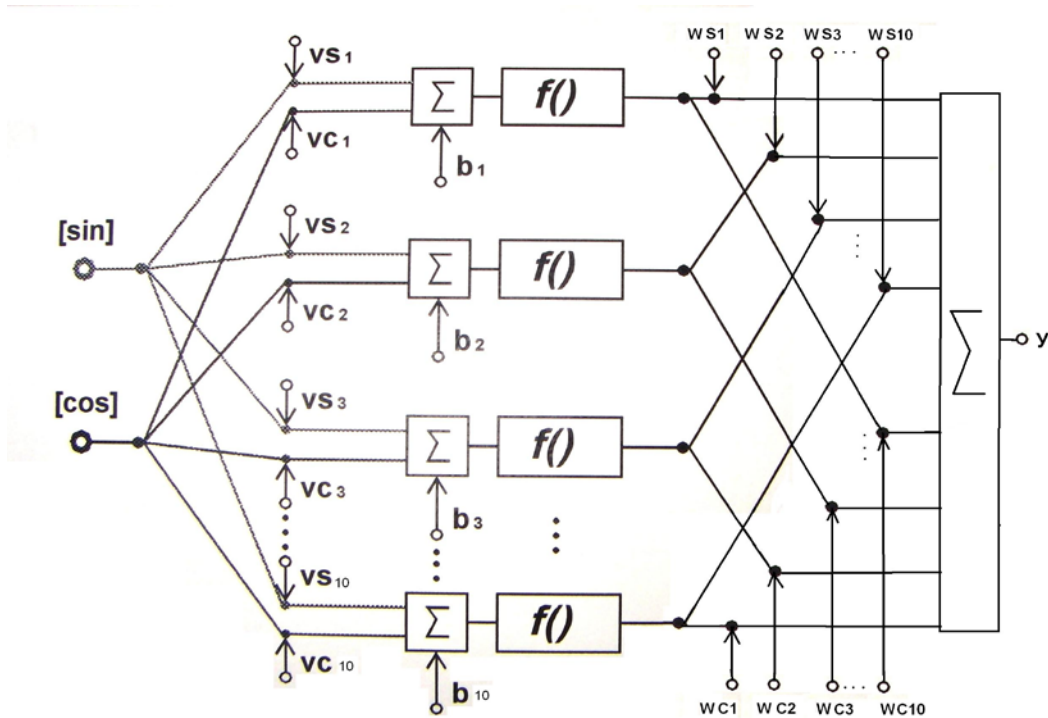


Рис.7. Структура многослойной нейронной сети

Выходные значения сети определяются так:

$$s_i = \sum_{k=1}^{10} w_{ki} y_k, \quad (2)$$

где w_i – весовые коэффициенты нейронов выходного слоя.

Роль развертки выполняет изменение фазы, задаваемое призмой. ИНС обучается для обеспечения минимальной погрешности выходного сигнала по отношению ко всем измеренным данным.

Для обучения ИНС выбран алгоритм обучения с учителем, так как правильные выходные состояния нейронов заведомо известны и подстройка синаптических связей идет в направлении, минимизирующем погрешность на выходе сети. При этом обучение сети состоит в подстройке весовых коэффициентов каждого нейрона.

Смещение s_v изначально задается равным нулю, весовые коэффициенты – w, s_w, v_c, v_s – единице. Средняя квадратическая погрешность формируется по всем реализациям эксперимента при обучении нейронной сети.

Весовые коэффициенты и пороги сети модифицируются, используя значения отклонений, характеризующие степень близости функций, реализуемых нейронной сетью с идеальными (полученными при калибровке призмы), обеспечивая постепенное уменьшение погрешности.

Погрешность характеризуется разностью выхода нейронной сети и идеальной функцией. Весовые коэффициенты и пороги сети модифицировались в соответствии с методом наименьших квадратов. Суммируя квадраты отклонений по всей обучающей выборке, получаем целевую функцию, подлежащую минимизации:

$$G = \sum_{i=1}^N E^2 = \sum_{i=1}^N (z_i - \sin \phi_i)^2. \quad (3)$$

Процедура оптимизации выполнялась с применением настройки Excel-Поиск решения. Описанный алгоритм можно представить в виде блок-схемы, представленной на рис. 8.

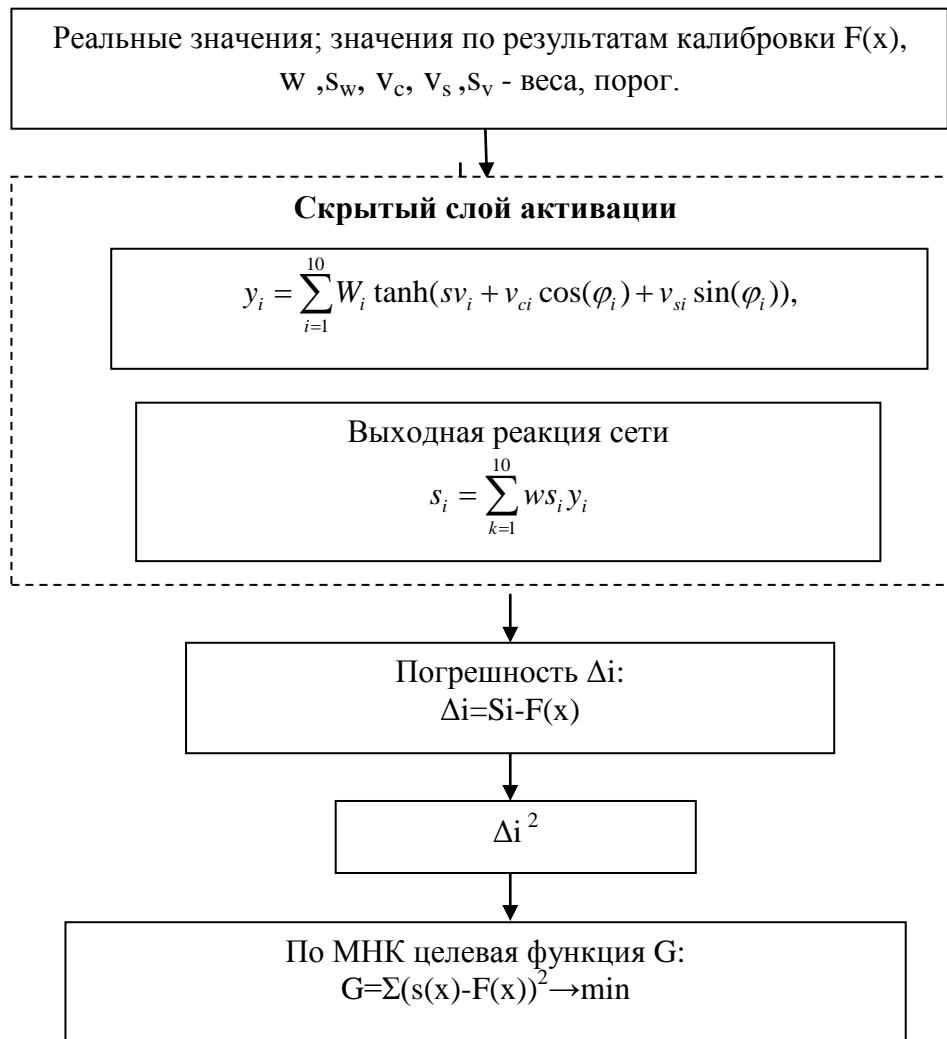


Рис.8.

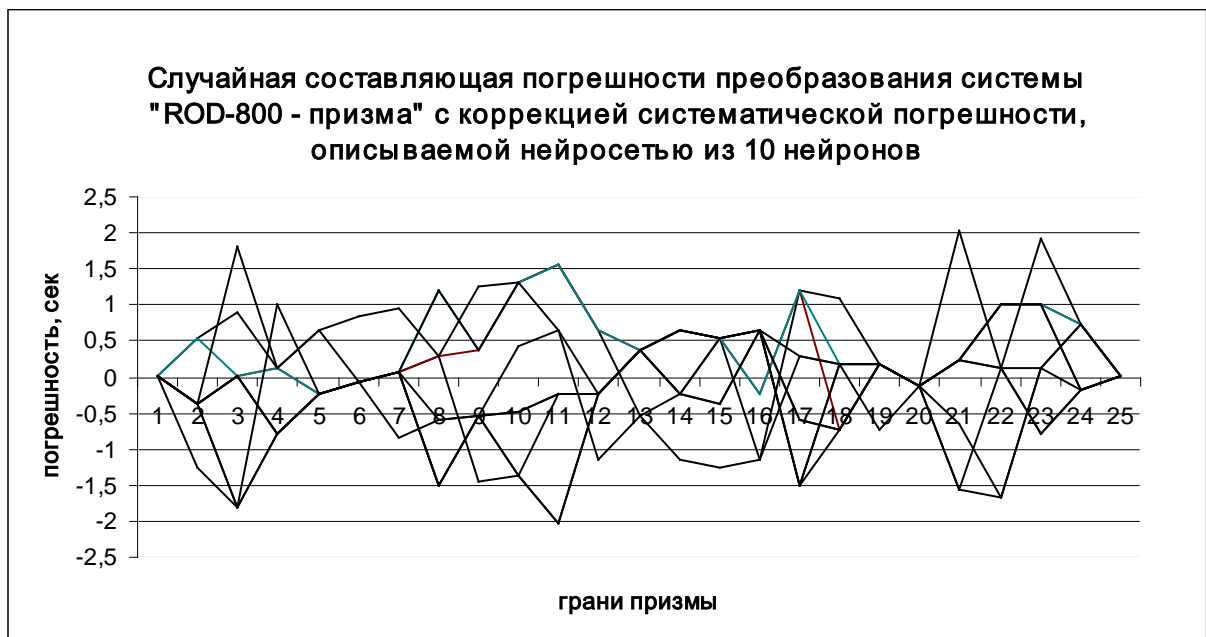


Рис. 9.

Случайная составляющая погрешности преобразования системы «ROD-800 – призма» из 11 приемов нейросетью показана на рис.9.

Для системы «TPS System 1000-призма» при обучении этой же сетью получим следующие результаты.

Выявленная нейросетью случайная составляющая погрешности системы «TPS System 1000 - призма», показана на рис.10.

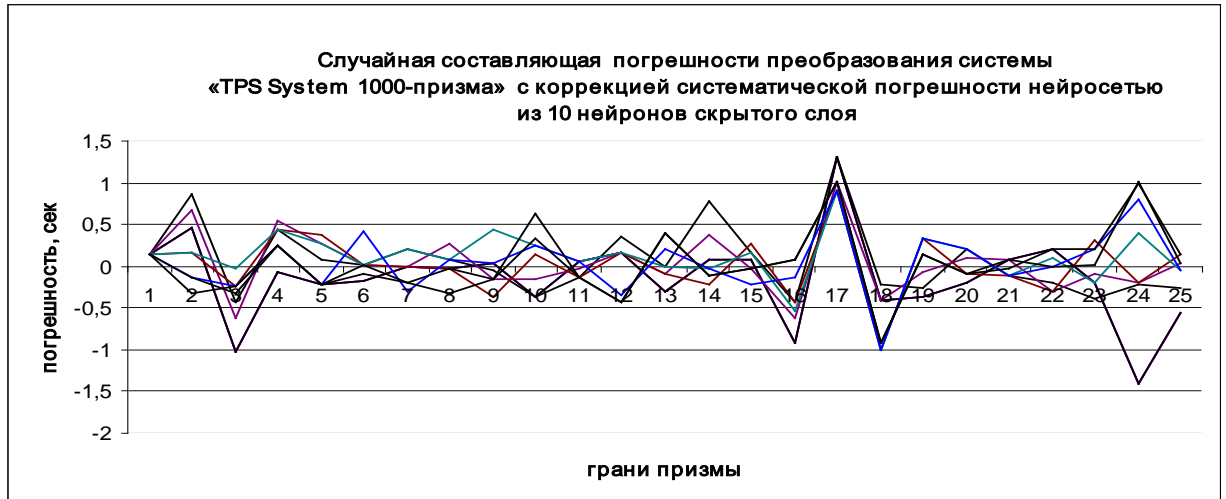


Рис.10.

Для системы «TPS System 1000 - ROD-800» при использовании такой нейронной сети будем иметь следующие результаты.

Выявленная случайная составляющая погрешности преобразования системы «TPS System 1000 - ROD-800» после коррекции систематической ее составляющей показана на рис.11.

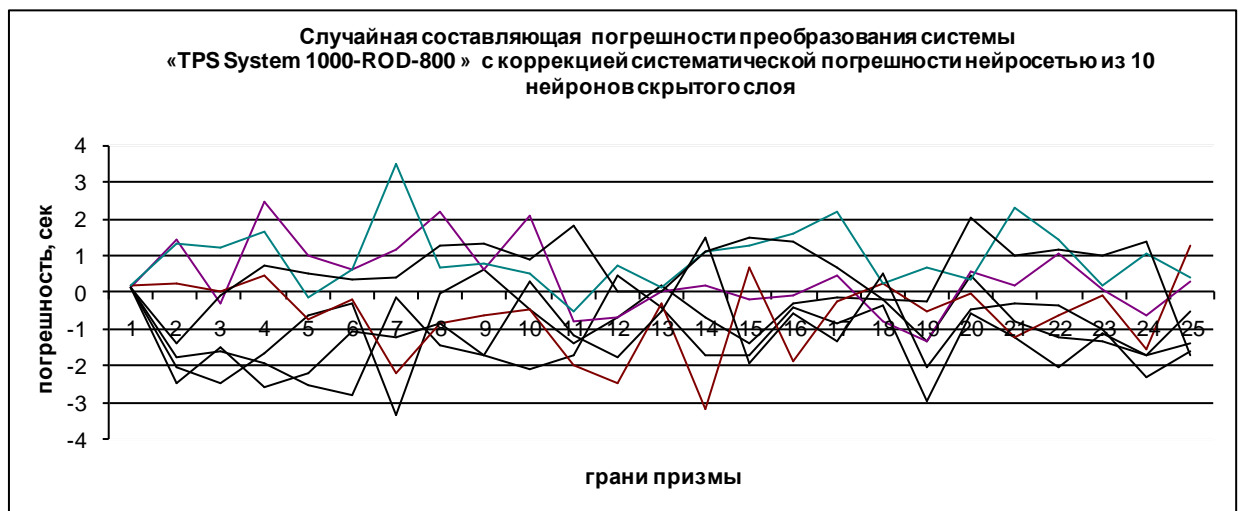


Рис.11.

Систематическая погрешность станда, полученная после обработки нейросетью, учитывается при поверке и калибровке, а случайная погрешность станда характеризует методическую погрешность при проведении измерений.

Погрешность калибруемого прибора может быть найдена косвенным образом. При сложении аппроксимирующих функций систем преобразования «ROD-800- призма» и «TPS System 1000- ROD-800» получим погрешность преобразования системы «TPS System 1000 - призма», свободную от погрешностей, вносимых в эту систему угловым прецизионным преобразователем ROD-800 и кинематическими связями между угловым прецизионным преобразователем и призмой. Результат сложения представлен на рис. 12.

Случайная погрешность поверяемого прибора представлена на рис.13.

Допустимые границы для случайной погрешности определяются значением $\pm 0,42''$.

График усреднения случайной составляющей погрешности представлен на рис.14. Близость графика к нулю показывает достаточно высокое качество устранения систематической компоненты.



Рис.12.

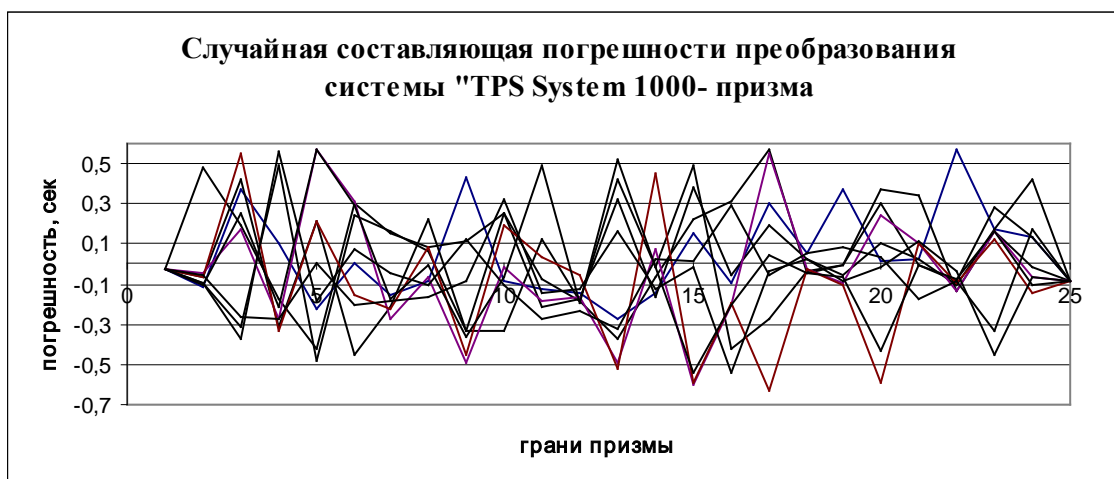


Рис.13.



Рис.14.

Разработанный алгоритм позволяет существенно уменьшить время вычислений, быстро определить значение весовых коэффициентов и порогов сети, минимизирующих целевую функцию. Графики, построенные по результатам экспериментов, иллюстрируют высокую точность аппроксимации.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методы поверки и калибровки, которые включают дополнительное использование прецизионного углового преобразователя при необходимости исследования короткопериодической погрешности поверяемого средства измерения:

а) с использованием одного или двух автоколлиматоров, в качестве эталонного средства измерения выступает 24-х гранная призма-многогранник. Метод

используется для поверки и калибровки угломерных приборов, имеющих погрешность измерения горизонтальных углов 1-2 угл.сек. При необходимости исследования внутришаговой погрешности поверяемого средства измерения дополнительно вводится угловой преобразователь, дискретность которого меньше погрешности поверяемого прибора ;

б) эталонным средством измерений является растровый угловой измерительный преобразователь. Метод используется для поверки и калибровки угломерных приборов, имеющих погрешность измерения горизонтальных углов $3 \div 5$ угл. сек. и более.

2. В каждом из методов измерений разработана соответствующая методика измерений:

- 1 коллиматор + призма-многогранник;
- 2 коллиматора + призма многогранник;
- 2 коллиматора + призма-многогранник + прецизионный растровый угломерный преобразователь;
- прецизионный угломерный преобразователь.

3. На основе нейросетевых технологий разработан алгоритм, позволяющий выявлять и корректировать систематические погрешности системы «угломерный преобразователь-призма» и системы «тахеометр-призма».

4. Разработан нейросетевой алгоритм, позволяющий выявить и учесть не только погрешности стенда, но и погрешность исследуемого прибора.

5. По результатам исследований на методику измерений университетом подана заявка на изобретение. Разработанные угломерный стенд и алгоритмы учета погрешностей использованы в поверочной установке МИИГАиК УМК-М, на которую от Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии получен Сертификат об утверждении типа средства измерений.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Хиноева О.Б. О повышении точности измерений в геодезии//Техника и технология, 2004, -№6(6).-С.66-69.

2. Голыгин Н.Х., Хиноева О.Б., Ямбаев Х.К. Возможности повышения точности геодезических измерений на основе искусственных нейросетей// Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2005, - №5. – С. 17–27.
3. Хиноева О.Б. Новые возможности повышения точности аттестации геодезических приборов// Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2005, - №5. – С. 136-141.
4. Бахарев Е.С., Голыгин Н.Х., Травкин С.В., Хиноева О.Б., Ямбаев Х.К. Измерительный комплекс для аттестации угловых и линейных измерительных систем УЛК-М//Приборы, 2006,-№5(71). –С. 50-54.
5. Хиноева О.Б., Жданова Е.С., Целикова А.А., Травкин С.В. -Сб. научных докладов научно- практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи- путь к обществу, основанному на знаниях» . Москва, 2006, - С. 264-268.