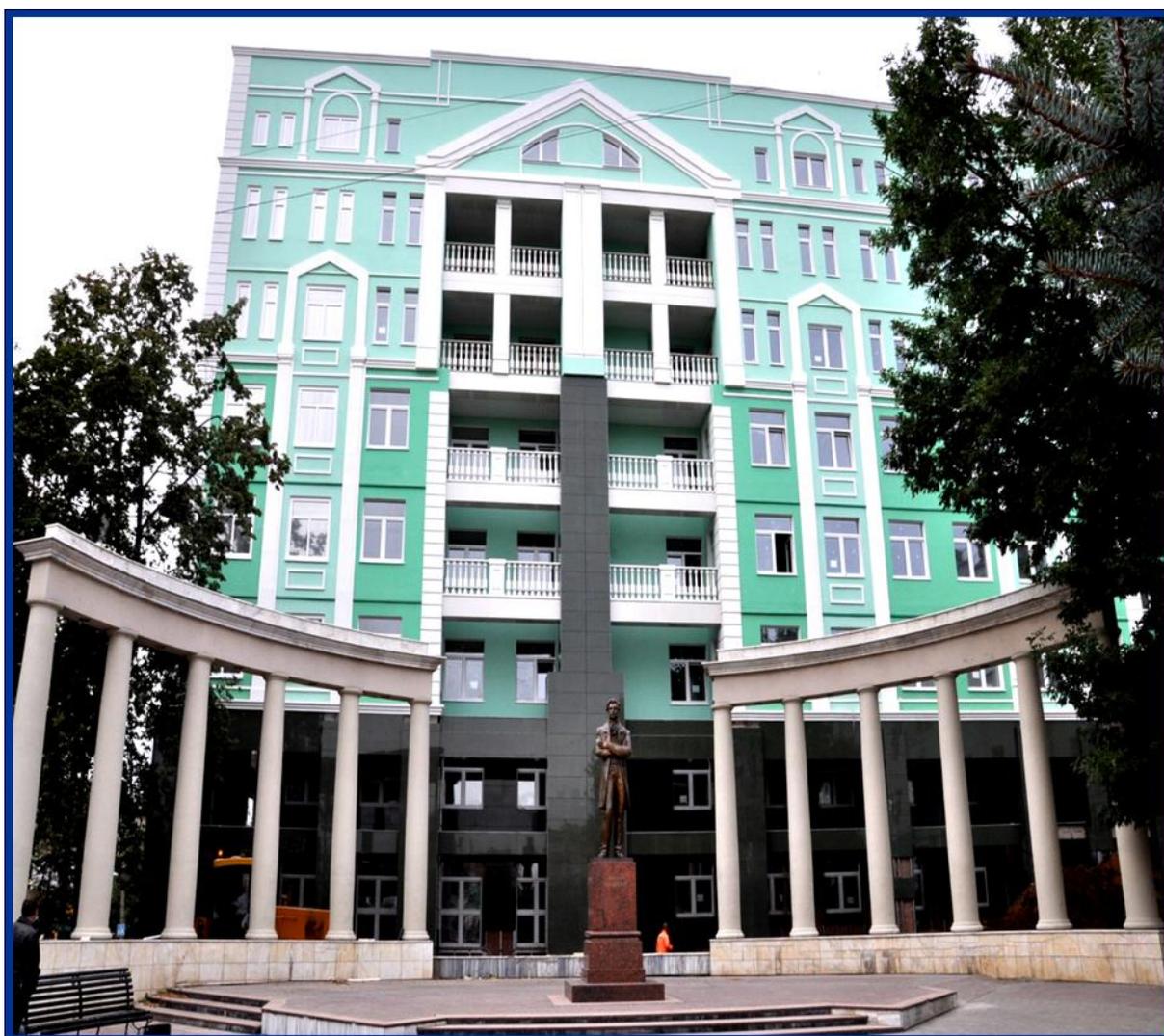


Г.В. Миловзоров, А.Г. Миловзоров, И.А. Галикеев

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Метрология, квалиметрия и стандартизация»**



Ижевск 2012

**Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Института нефти и газа им. М.С. Гуцериева
Кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин»**

Г.В. Миловзоров, А.Г. Миловзоров, И.А. Галикеев

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Метрология, квалиметрия и стандартизация»**

Ижевск 2012

УДК 622.27(07)
ББК 33.36я7
М605

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: к.т.н., доцент Т.Н. Иванова

Миловзоров Г.В., Миловзоров А.Г., Галикеев И.А.

М605 Исследование метрологических характеристик телеметрических навигационных систем. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Метрология, квалиметрия и стандартизация»: учебное издание. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2012. – 54 с.

Издание содержит описание установки для исследований характеристик телеметрических систем, описание устройства и принципа действия телеметрических навигационных систем с кабельным каналом связи, а также основные понятия и определения теории погрешностей. В тексте приведены задания к лабораторным работам по исследованию метрологических характеристик телеметрической навигационной системы с кабельным каналом связи.

Методические указания разработаны на основе рабочей программы по дисциплине «Метрология, квалиметрия и стандартизация». Издание предназначено для студентов 3–го курса, обучающихся по профилям 131010 «Бурение нефтяных и газовых скважин», 131011 «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти», 131012 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства» направления 131000 «Нефтегазовое дело».

© Миловзоров Г.В., Миловзоров А.Г.,
Галикеев И.А., 2012

© ФГБОУ ВПО «Удмуртский
государственный университет», 2012

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Краткие теоретические сведения.....	6
1.1. Описание конструкции и принцип действия установки для исследований метрологических характеристик телеметрических навигационных систем.....	6
1.2. Состав телеметрической навигационной системы.....	9
1.3. Программное обеспечение.....	11
2. Основные понятия и определения теории погрешностей.....	13
2.1. Классификация погрешностей.....	13
3. Задание и методика выполнения лабораторных работ, требования к содержанию и оформлению отчета, контрольные вопросы.....	16
3.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Изучение телеметрической навигационной системы и установки для исследования метрологических характеристик.....	16
3.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Исследование систематических погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы.....	18
3.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Исследование систематических погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы.....	23
3.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Исследование систематических погрешностей преобразователя азимута телеметрической навигационной системы.....	28
3.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы.....	33
3.6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы.....	40
3.7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя азимута телеметрической навигационной системы.....	46
4. Список литературы.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост темпов разведки и добычи нефти и газа, увеличение интенсивности уже найденных месторождений за счёт применения кустового бурения и горизонтальной проводки месторождений, потребовало существенного повышения точности диагностики и активного контроля пространственного положения ствола скважины.

В процессе строительства горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов в качестве измерительных систем используются телеметрические навигационные системы. Точность производимых измерений и оперативность их представления во многом определяют и стоимость затрат на построение скважины в целом.

Поэтому приобретение практических навыков в работе с телеметрическими навигационными системами, а также исследование их метрологических характеристик представляются на сегодняшний день весьма актуальными в плане подготовки специалистов, обучающихся по профилям 131010 «Бурение нефтяных и газовых скважин», 131011 «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти», 131012 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства» направления 131000 «Нефтегазовое дело».

В структуру методических указаний входят описание установки для исследований характеристик телеметрических систем, описание устройства и принципа действия телеметрических навигационных систем с кабельным каналом связи, а также основные понятия и определения теории погрешностей. В тексте приведены задания к лабораторным работам по исследованию метрологических характеристик телеметрической навигационной системы с кабельным каналом связи.

Лабораторные работы проводятся с целью изучения установки для исследования характеристик телеметрических навигационных систем, а также устройство и принцип действия телесистем с кабельным каналом связи. Одной из целей проведения лабораторных работ является формирование следующих компетенций у студентов:

1. обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути ее достижения;
2. проявлять инициативу, находить организационно-управленческие решения и нести за них ответственность;
3. использовать нормативные правовые документы в своей деятельности;
4. использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач;
5. использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

6. владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, работать с компьютером как средством управления информацией;
7. составлять и оформлять научно-техническую и служебную документацию;
8. обоснованно применять методы метрологии и стандартизации;
9. использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом;
10. использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности;
11. выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов;
12. осуществлять сбор данных для выполнения работ по проектированию бурения скважин, добычи нефти и газа, промышленному контролю и регулированию извлечения углеводородов на суше и на море, трубопроводному транспорту нефти и газа, подземному хранению газа, хранению и сбыту нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов.

Специфика и оригинальность лабораторных работ, представленных в данном издании, заключается в том, что основы общей теории измерений и основы метрологии усваиваются студентами на конкретных устройствах, а именно непосредственно на промышленном образце телеметрической навигационной системы с кабельным каналом связи, которая используется в процессе строительства горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов, а также на установке для исследования их метрологических характеристик.

Объектно-ориентированные теоретические знания и практические навыки, получаемые студентами в ходе выполнения данных лабораторных работ, могут быть использованы для дальнейшего курсового и дипломного проектирования, а также при прохождении производственных и преддипломной практик, в соответствии с учебным планом.

1. Краткие теоретические сведения

1.1. Описание конструкции и принцип действия установки для исследований метрологических характеристик телеметрических навигационных систем

Установка для исследования характеристик телеметрических навигационных систем (далее по тексту УИТС) предназначена для исследования метрологических характеристик телеметрических навигационных систем (далее по тексту телесистема), позволяет установить пространственные углы в трёх взаимоперпендикулярных плоскостях, каждый из которых воспроизводит телесистема, закреплённая в установке.

Внешний вид установки представлен на рис. 1.

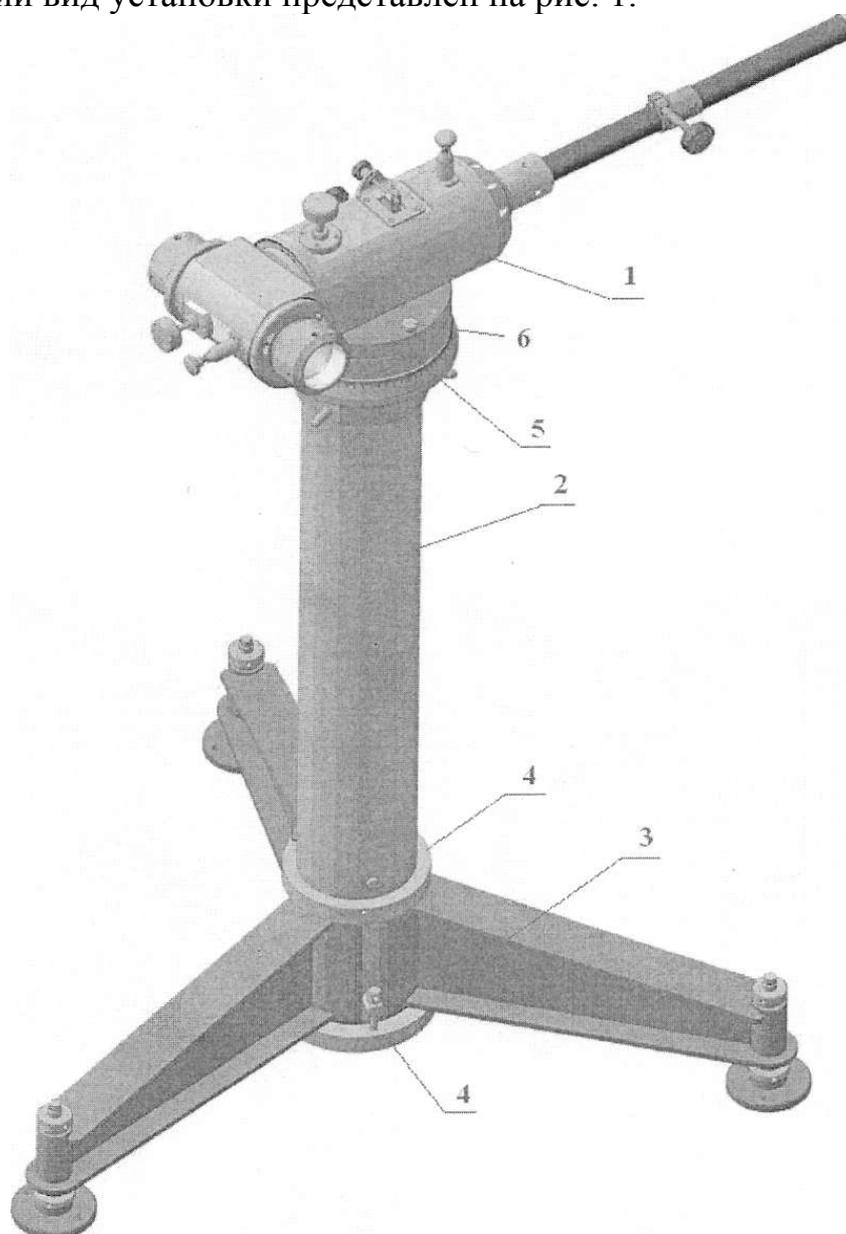


Рис. 1. Внешний вид УИТС

В состав УИТС входит головка, стойка и лапы опорные. Стойка 2 соединяется с опорными лапами 3 при помощи колец 4, которые крепятся к стойке. Головка 1 устанавливается на фланец 5 опорной оси стойки по направляющим пальцам и закрепляется винтами 6.

Зенитный угол - это угол, образованный вертикалью и направлением продольной оси скважинного прибора телесистемы. Измеряется в градусах в интервале 0° - 90° . Отсчитывается в вертикальной плоскости.

Азимут магнитный - угол, образованный направлением на магнитный север и направлением продольной оси скважинного прибора в горизонтальной плоскости. Измеряется в градусах от 0° (направление на магнитный север) до 360° по часовой стрелке.

Азимут истинный (географический) - угол, образованный направлением на истинный (географический) север и направлением продольной оси скважинного прибора в горизонтальной плоскости. Измеряется в градусах от 0° (направление на географический север) до 360° по часовой стрелке.

Визирный угол - угол положения корпуса скважинного прибора телесистемы относительно апсидальной плоскости. Отсчитывается в плоскости, перпендикулярной продольной оси скважинного прибора. Измеряется в градусах в интервале 0° - 360° .

Азимут, зенитный угол и визирный угол устанавливаются по лимбам вращением соответствующих осей УИТС. Отсчет углов берется следующим образом: количество градусов соответствует надписи штриха лимба, который проецируется на нулевой штрих нониуса, а количество угловых минут определяется по совпадению штрихов нониуса и штриха лимба.

На рис. 2 представлена кинематическая схема УИТС. Опорная ось 1 может поворачиваться от 0° до 360° относительно корпуса стойки и представляет собой азимутальную ось, на верхнем конце которой расположен фланец 3, а на нижнем - пята 2 с коническим окончанием. Фланец имеет плоское основание, перпендикулярное оси азимутальной, на котором установлены два пальца, предназначенные для однозначного закрепления головки, и нониусную шкалу азимута.

Корпус предназначен для размещения азимутальной оси в вертикальном положении. Пята 2 и подпятник 5 составляют нижнюю центральную опору азимутальной оси. Верхняя боковая опора оси азимутальной выполнена в виде втулки 4 подшипника скольжения.

В верхней части корпуса расположены лимб азимута и штурвал тормоза опорной оси, а в нижней части размещены крепёжные кольца. Лимб азимута имеет круговую оцифровку от 0° до 359° (цена деления 1°) по направлению часовой стрелки. Нониус имеет оцифровку от $0'$ до $60'$. Верхнее кольцо с помощью винтов крепится к корпусу и своей внутренней конической поверхностью прижимает сектор лапы к корпусу стойки. В нижней части корпуса стойки установлены опорные ввёртыши, к которым крепится нижнее кольцо с помощью болтов. Нижнее кольцо своей внутренней конической поверхностью прижимает сектор лапы к корпусу стойки.

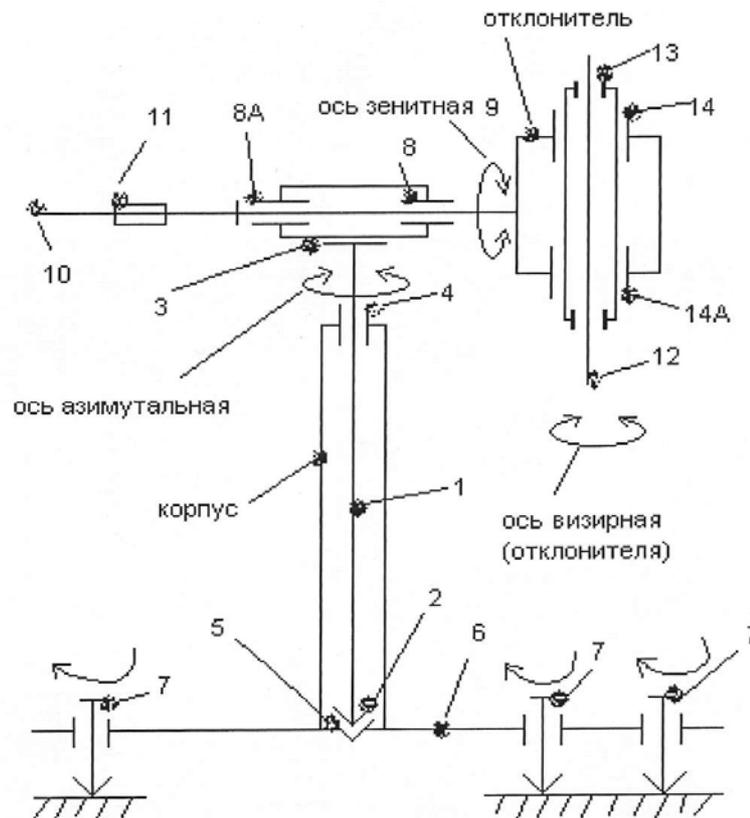


Рис.2. Кинематическая схема УИТС

Лапы 6, в количестве трёх штук, устанавливаются перпендикулярно корпусу стойки и ориентированы радиально под углом 120° друг другу, что обеспечивает устойчивость изделия в вертикальной плоскости. Ножка 7 лапы 6 имеет на торце шип квадратного сечения, при вращении которого осуществляют регулировку высоты установки и обеспечивают перпендикулярность азимутальной оси по отношению к горизонтальной плоскости.

Головка состоит из корпуса, оси, отклонителя и фиксаторов. Основанием корпуса головки является фланец, который имеет отверстия для размещения направляющих пальцев и отверстия для винтов. Ось представляет собой зенитную ось 9, которая установлена в корпусе головки. Зенитная ось имеет опоры в виде втулки 8 подшипника скольжения с одной стороны, а также втулки 8А подшипника скольжения с другой и может поворачиваться от 0° до $\pm 180^\circ$ относительно основания корпуса головки. Ось имеет фланец для крепления отклонителя с одной стороны и резьбу для закрепления штанги 10 противовеса с другой.

На корпусе сверху расположены фиксатор зенитной оси, винт тормоза и ходовой винт, а сбоку зажимной винт. Фиксатор позволяет фиксировать ось в однозначном положении, когда установка зенитного угла производится в точках, кратных 30° от начального нулевого значения. Для установки произвольного зенитного угла используется ходовой винт, при этом зажимной винт должен быть затянут, а фиксатор должен находиться в

отжатом (верхнем) положении. Лимб зенитной оси расположен на корпусе головки со стороны отклонителя и имеет секторную оцифровку от 0° до 180° и от -0° до -180° (цена деления 1°). Нониус установлен на фланце зенитной оси (цена деления $6'$).

Штанга противовеса закреплена с помощью муфты к оси зенитной с противоположной стороны отклонителя и предназначена для установки грузов 11 противовеса. Отклонитель состоит из корпуса, основания зажима и зажимных гаек. Корпус отклонителя закреплён к фланцу зенитной оси перпендикулярно её плоскости и предназначен для размещения основания зажима 13. Основание зажима представляет собой визирную ось 12 и имеет опоры в виде втулки подшипника скольжения с одной стороны, а также втулки 14А подшипника скольжения с другой стороны и может поворачиваться от 0° до 360° относительно корпуса отклонителя. На корпусе отклонителя расположены фиксатор визирной оси, винт тормоза и нониус. Фиксатор позволяет фиксировать ось в однозначном положении, когда установка визирного угла производится в точках, кратных 30° от начального нулевого значения. Для установки произвольного визирного угла фиксатор должен находиться в отжатом (верхнем) положении, а фиксация осуществляется винтом тормоза. Лимб визирной оси расположен на основании зажима и имеет круговую оцифровку от 0° до 359° (цена деления 1°) по направлению часовой стрелки. Нониус установлен на корпусе отклонителя и имеет оцифровку от $0'$ до $60'$.

Зажимные гайки предназначены для закрепления цанговой втулки в основании зажима. Цанговая втулка предназначена для удержания телесистемы в основании зажима отклонителя по центру визирной оси и входит в комплект сменных частей.

1.2. Состав телеметрической навигационной системы

Скважинная телеметрическая навигационная система, в общем случае, предназначена для измерения навигационных, геофизических и технологических параметров при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Результаты измерения позволяют в процессе бурения наклонно-направленных, горизонтальных скважин и боковых стволов определить следующие основные параметры: зенитный угол, азимут, ориентацию забойного двигателя относительно магнитного и гравитационного полей Земли – угол положения отклонителя бурового инструмента или визирный угол, угол магнитного наклона и температуру на забое скважины.

В состав телесистемы входит следующее оборудование:

- 1) скважинный прибор;
- 2) наземный пульт оператора (НПО);
- 3) пульт бурильщика;
- 4) комплект монтажных частей;
- 5) персональный компьютер.

На рис. 3 представлена структура телесистемы.

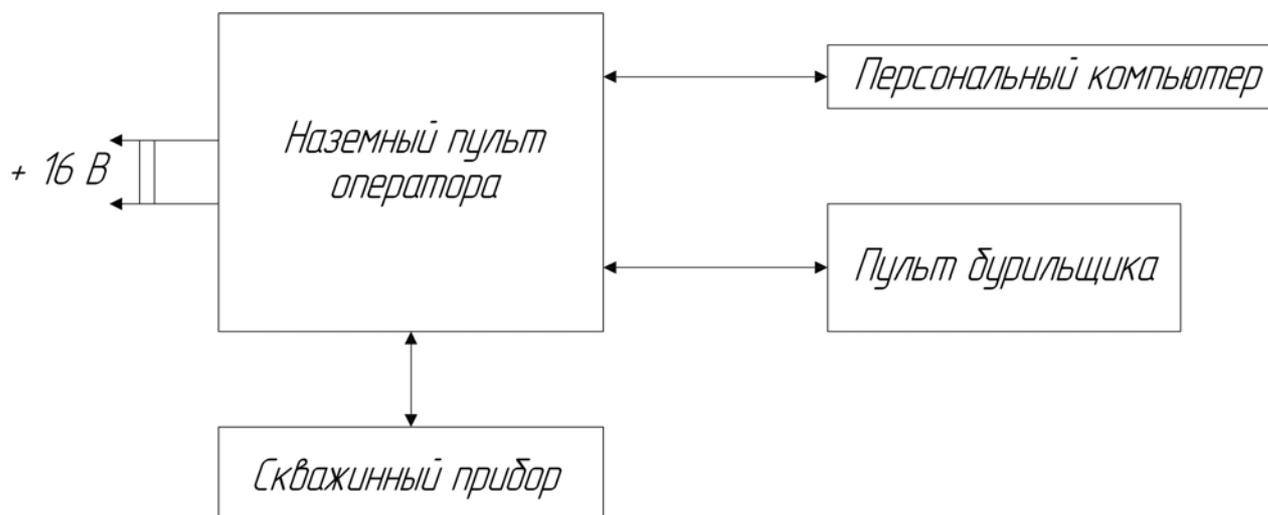


Рис.3. Структура телесистемы

Скважинный прибор опускается в скважину внутри колонны бурильных труб на геофизическом кабеле и устанавливается внутри компоновки низа бурильной колонны на некотором удалении от магнитных частей бурового инструмента. Измерительный модуль скважинного прибора передает информацию от датчиков телесистемы в наземный пульт оператора, где после обработки основные параметры отображаются на мониторе компьютера и индикаторном табло пульта бурильщика. Зенитный угол, азимут, угол установки отклонителя являются основными параметрами при работе телесистемы в процессе бурения скважины.

Наземный пульт оператора принимает, накапливает, обрабатывает данные, поступающие с модуля измерительного скважинного прибора, и передает их на компьютер.

Пульт бурильщика отображает на индикаторном табло три основных параметра: зенитный угол, азимут, угол установки отклонителя, а также сектор допустимого значения угла установки отклонителя для работы бурового двигателя в траектории, задаваемой оператором.

Компьютер, после расшифровки данных с помощью специального программного обеспечения, производит регистрацию необходимых параметров и отображает их на дисплей и индикаторное табло пульта бурильщика.

Комплект монтажных частей предназначен для обеспечения электрической связи наземного пульта оператора, портативного компьютера и пульта бурильщика.

1.3. Программное обеспечение

Программное обеспечение состоит из следующих программных модулей, разделённых по функциональному назначению:

1. "Gnom.exe" - программа сопряжения с наземным пультом оператора;
2. "Pult.exe" - пульт оператора телесистемы.

Программа Gnom.exe предназначена для организации взаимодействия программного обеспечения с наземным пультом оператора по последовательному каналу связи.

Программа «Пульт оператора телесистемы» (Pult.exe) предназначена для наглядного представления текущих показаний телеметрической навигационной системы и установки базовых параметров. Pult.exe использует данные из программы сопряжения с наземным пультом оператора "Gnom.exe". Если при запуске программы "Pult.exe" программа "Gnom.exe" не была запущена, то она запускается автоматически.

На рис. 4 представлено окно программы «Пульт оператора телесистемы».

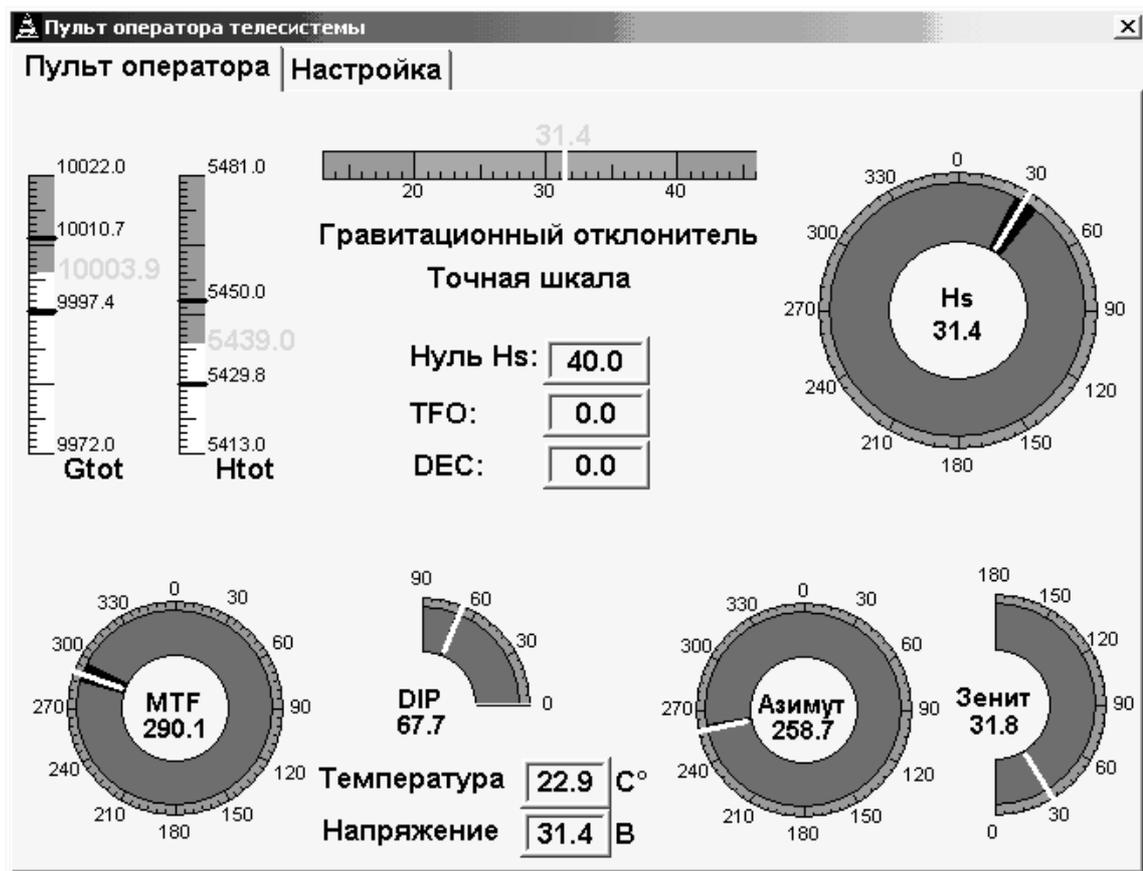


Рис. 4. Окно программы «Пульт оператора телесистемы»

Точная шкала сектора допустимых значений отклонителя дублирует показания "Пульта бурильщика":

"Гравитационный" и "Магнитный" отклонитель указывает какие показания выдаются в качестве отклонителя на пульт бурильщика.

"Гравитационный" - направление ориентации двигателя-отклонителя по отношению к верхней стороне ствола скважины (H_s);

"Магнитный" - направление ориентации двигателя-отклонителя по отношению к северу (МТФ).

«Магнитный отклонитель» используется в основном при малых зенитных углах. Переключение отклонителя осуществляется в закладке "Настройка".

Грубая и точная шкала показывает какая используется в данный момент шкала на скважинном приборе. Скважинный прибор способен автоматически переключаться на грубую или точную шкалу при возникновении или отсутствии вибрации. Оператор может вручную осуществить переключение шкал или произвести их калибровку в закладке "Настройка".

Величины G_{tot} и H_{tot} отображают текущие значения величин гравитационных и магнитных векторов, измеряемых скважинным прибором.

Изменение величины гравитационного вектора характеризует наличие вибрационных и ударных возмущений, сопровождаемых процесс бурения (процесс породоразрушения).

Изменение величины магнитного вектора характеризует наличие магнитных масс или магнитных аномалий, что может сказаться на показаниях азимута (A_z) и магнитного отклонителя (МТФ).

Синие отметки характеризуют максимальные и минимальные зафиксированные значения векторов. Сброс отметок осуществляется нажатием кнопки "Сброс регистрации" в закладке "Настройка".

Шкалы значений измеряемых угловых параметров:

H_s - направление ориентации двигателя-отклонителя по отношению к верхней стороне ствола скважины;

МТФ - направление ориентации двигателя-отклонителя по отношению к северу;

DIP – угол наклона вектора магнитного поля Земли относительно горизонтали;

Азимут - направление ствола скважины относительно направления на север;

Зенит - угол наклона ствола скважины по отношению к вертикали.

Синий сектор характеризуют диапазон зафиксированных значений угловых параметров. Сброс секторов осуществляется нажатием кнопки "Сброс регистрации" в закладке "Настройка".

Показания дискретных параметров:

Температура - температура в скважинном приборе;

Напряжение - входное напряжение на скважинном приборе.

Рабочие константы:

Нуль H_s - калибровочный коэффициент скважинного прибора в сборе;

ТФО - калибровочный коэффициент бурильной компоновки со скважинным прибором;

DEC - магнитное склонение для данной местности (для перевода магнитного азимута в географический).

2. Основные понятия и определения теории погрешностей

Под погрешностью измерения следует понимать отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Истинное значение физической величины – это значение, идеальным образом отражающее свойство данного объекта, как в количественном, так и в качественном отношении.

Действительное значение физической величины – значение, найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели оно может быть использовано вместо него.

Результат измерения представляет собой приближенную количественную оценку истинного значения величины, найденную путем измерения.

2.1. Классификация погрешностей

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности [1,3].

Абсолютная погрешность Δ является оценкой абсолютной ошибки измерения и описывается следующей формулой: $\Delta = X - Q$, где X – результат измерения, Q – истинное (действительное) значение измеряемой величины.

Относительной погрешностью δ называют отношение абсолютной погрешности к истинному (действительному) значению измеряемой

величины:
$$\delta = \frac{\Delta}{Q} = \frac{X - Q}{Q}.$$

Под приведенной погрешностью γ понимают относительную погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерения отнесена к условно принятому значению Q_N , постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \frac{\Delta}{Q_N} = \frac{X - Q}{Q_N}.$$

По характеру проявления погрешности можно разделить на четыре основных группы: случайные, систематические, прогрессирующие и грубые (промахи) [1,3].

Под случайной погрешностью понимают составляющую погрешности измерения, изменяющуюся случайным образом, как по знаку, так и по значению, в серии повторных измерений одного и того же размера физической величины, проведенных в одних и тех же условиях.

Систематическая погрешность – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Прогрессирующая погрешность – это непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени.

Под грубой понимают случайную погрешность (промах), результат отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Также различают погрешности по причине возникновения: инструментальная, методическая и субъективная [1,3].

Инструментальной является погрешность средств измерения, определяемая его несовершенством, неидеальной реализацией принципа действия, конструктивно-технологическими особенностями и влиянием внешних условий. По характеру проявления инструментальная погрешность может являться систематической и случайной.

Методическая погрешность – это погрешность обусловленная несовершенством, недостатками применяемого метода измерений и упрощений при построении конструкций средств измерения, в том числе и несовершенством математических зависимостей.

Субъективная погрешность – это погрешность, обусловленная индивидуальными способностями оператора.

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешности.

Основной называется погрешность средства измерения, определяемая в нормальных условиях его применения.

Дополнительной называется погрешность средства измерения, возникающая вследствие отклонения какой либо из влияющих величин.

В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин погрешности средств измерения делят на статические и динамические [1,3]. Под статической понимают погрешности средства измерения применяемого для измерения физической величины, принимаемой за неизменную. Динамической называют погрешность средства измерения, возникающая дополнительно при измерении переменной физической величины и обусловленная несоответствием его реакции на скорость изменения измеряемого сигнала.

О природе случайных погрешностей, их источниках и путях возникновения известно мало, существует много причин, вызывающих появление этих погрешностей. Каждая из них воздействует на результат измерения и суммарное их воздействие может вызывать заметные погрешности. В каждый момент эти причины проявляют себя по-разному, без закономерной связи между собой, независимо друг от друга. Как следствие, заметные погрешности появляются без закономерной связи с предыдущими и последующими погрешностями.

В общем случае результаты измерений и их погрешности должны рассматриваться как функции, изменяющиеся во времени случайным образом, т.е. случайные функции, или, как принято говорить в математике, случайные процессы. Поэтому математическое описание результатов и

погрешностей измерений должно строиться на основе теории случайных процессов.

Характеристикой среднего значения случайной величины служит математическое ожидание, которое описывается следующей формулой:

$$M(X) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где n – общее число измерений, X - i -й результат измерений.

Под дисперсией случайной величины понимают математическое ожидание квадрата отклонения:

$$D(X) = M(X - M(X))^2 = M(X^2) - (M(X))^2.$$

Среднее квадратическое отклонение случайной величины равно квадратному корню из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D(X)}.$$

Выражения оценок характеристик (т.е. статистических характеристик) погрешностей средств измерений даются в качестве математических описаний [2].

Оценка Δ_s систематической составляющей погрешности определена формулой:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2},$$

где $\bar{\Delta}'$ и $\bar{\Delta}''$ - средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'',$$

где n - число реализации погрешности при определении $\bar{\Delta}'$ или $\bar{\Delta}''$; Δ_i' и Δ_i'' - i -е отсчеты погрешностей Δ' и Δ'' , полученные экспериментально при изменении информативного параметра, со стороны меньших (для Δ_i') и больших (для Δ_i'') значений.

Оценка среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства измерений определена формулой:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}}.$$

3. Задание и методика выполнения лабораторных работ, требования к содержанию и оформлению отчета, контрольные вопросы

3.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Изучение телеметрической навигационной системы и установки для исследования метрологических характеристик

Цель

- ознакомление со структурой и принципом действия телеметрических навигационных систем и изучение установки для исследований их характеристик.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при работе с установкой для исследования характеристик телеметрических навигационных систем.

Задание

1. Изучить конструкцию УИТС.
2. Подготовить телесистему к работе:
 - 2.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 2.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 2.3. подключить блок питания к наземному пульту оператора;
 - 2.4. включить персональный компьютер;
 - 2.5. включить наземный пульт оператора;
 - 2.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

3. Выполнить оценку естественных вариаций магнитного поля Земли (H_x , H_y , H_z , H_{tot}):
 - 3.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=85^\circ$;
 - 3.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=65^\circ$;
 - 3.3. на протяжении 30 мин, через каждые 5 мин, регистрировать показания феррозондов по осям x , y , z (H_x , H_y , H_z) в десятичном формате, величину модуля магнитного вектора

$(H_{tot} = \sqrt{(H_x)^2 + (H_y)^2 + (H_z)^2})$ и значение азимута (α); эти данные отображаются в программе «Аппаратура телесистемы» (Gnom.exe) в закладке «Рабочий режим».

4. Измеренные данные занести в таблицу:

T, мин	H _x	H _y	H _z	H _{tot} (изм.)	H _{tot} (расч.)	α , град
0						
5						
10						
15						
20						
25						
30						

5. Построить графики вариаций параметров магнитного поля (H_x(T); H_y(T); H_z(T); H_{tot}(T); α (T)).

6. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- краткое описание устройства и работы основных частей установки для исследований характеристик телесистемы;
- таблицы результатов измерений;
- графики вариаций параметров магнитного поля;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение наземного пульта оператора.
2. Объяснить назначение наземного пульта бурильщика.
3. Пояснить назначение и состав телесистемы.
4. Пояснить назначение и состав основных узлов УИТС.
5. Как задается сектор допустимого значения угла установки отклонителя для работы бурового инструмента в траектории?
6. Объяснить назначение фиксаторов и винтов тормоза, расположенных на корпусе УИТС.
7. Чем отличается азимут магнитный от азимута истинного (географического)?
8. Дать определение зенитного угла.
9. Как установить заданный зенитный угол с точностью до 6'?
10. Дать определение измеряемых параметров H_x, H_y, H_z, H_{tot}.

3.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Исследование систематических погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы

Цель

- определение систематических погрешностей телеметрической навигационной системы при измерении зенитного угла и изучение их распределения по динамическим диапазонам.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при экспериментальных исследованиях метрологических характеристик телеметрических навигационных систем.

Задание

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульту оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и визирного угла:
 - 2.1. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=5^\circ$;
 - 2.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=65^\circ$;
 - 2.3. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 0° до 90° с шагом 15° ;
 - 2.4. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=70^\circ$;
 - 2.5. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=170^\circ$;

- 2.6. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 0° до 90° с шагом 15° ;
- 2.7. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=105^\circ$;
- 2.8. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=285^\circ$;
- 2.9. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 0° до 90° с шагом 15° ;
- 2.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{абс}} = \theta_{\text{эци}} - \theta_{\text{цаä}} ;$$

- 2.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{отн}} = \frac{\theta_{\text{эци}} - \theta_{\text{цаä}}}{\theta_{\text{цаä}}} ;$$

- 2.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{прив}} = \frac{\theta_{\text{эци}} - \theta_{\text{цаä}}}{90^\circ} ;$$

- 2.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\text{аддит}} = \frac{\Delta\theta_{(+)} + \Delta\theta_{(-)}}{2} .$$

3. Измеренные значения зенитных углов и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

	$\varphi=5^\circ; \alpha=65^\circ$				$\varphi=70^\circ; \alpha=170^\circ$				$\varphi=105^\circ; \alpha=285^\circ$			
$\theta_{\text{зад}},$ град	$\theta_{\text{изм}},$ град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\theta_{\text{изм}},$ град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\theta_{\text{изм}},$ град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
0												
15												
30												
...												
75												
90												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
$\Delta_{\text{аддит}}$					-				-			

4. Построить графики погрешностей: $\Delta\theta_{абс}=f(\theta_{зад})$; $\Delta\theta_{относ}=f(\theta_{зад})$; $\Delta\theta_{прив}=f(\theta_{зад})$.

5. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей

$$\Delta\theta' = \Delta\theta - \Delta_{\text{адд}}.$$

6. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

	$\varphi=5^\circ; \alpha=65^\circ$			$\varphi=70^\circ; \alpha=170^\circ$			$\varphi=105^\circ; \alpha=285^\circ$					
$\theta_{зад}$, град	$\theta_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\theta_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\theta_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$
0												
15												
30												
...												
75												
90												

7. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и зенитного угла:

7.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=25^\circ$;

7.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=65^\circ$;

7.3. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 0° до 330° с шагом 30° ;

7.4. по шкале в зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=55^\circ$;

7.5. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=80^\circ$;

7.6. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 0° до 330° с шагом 30° ;

7.7. по шкале в зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=75^\circ$;

7.8. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=115^\circ$;

7.9. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 0° до 330° с шагом 30° ;

7.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{абс}} = \theta_{\text{еці}} - \theta_{\text{çаї}};$$

7.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{отн}} = \frac{\theta_{\text{эц}} - \theta_{\text{ца}}}{\theta_{\text{ца}}};$$

7.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{\text{пр}} = \frac{\theta_{\text{эц}} - \theta_{\text{ца}}}{90^i};$$

7.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;

7.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;

7.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\text{адд}} = \frac{\Delta\theta_{(+)} + \Delta\theta_{(-)}}{2}.$$

8. Измеренные значения зенитных углов и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

	$\theta=25^\circ; \alpha=65^\circ$			$\theta=55^\circ; \alpha=80^\circ$			$\theta=75^\circ; \alpha=115^\circ$					
$\varphi_{\text{зад}}$, град	$\theta_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\theta_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\theta_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
0												
30												
60												
...												
300												
330												
	$\Delta_{(+)}$				-				-			
	$\Delta_{(-)}$				-				-			
	$\Delta_{\text{адд}}$				-				-			

9. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей:

$$\Delta\theta' = \Delta\theta - \Delta_{\text{адд}}.$$

10. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

	$\theta=25^\circ; \alpha=65^\circ$			$\theta=55^\circ; \alpha=80^\circ$			$\theta=75^\circ; \alpha=115^\circ$					
$\varphi_{зад},$ град	$\theta_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\theta_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\theta_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$
0												
30												
60												
...												
300												
330												

11. Построить графики погрешностей: $\Delta\theta_{абс}=f(\varphi_{зад}); \Delta\theta_{относ}=f(\varphi_{зад});$
 $\Delta\theta_{прив}=f(\varphi_{зад}).$
12. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- графики вариаций параметров магнитного поля;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение абсолютной погрешности.
2. Назвать признаки, по которым классифицируются погрешности.
3. Что понимают под грубой погрешностью?
4. Дать определение основной и дополнительной погрешностям.
5. Как определяется наибольшие и наименьшие значения погрешностей по диапазонам распределения?
6. Как исключают аддитивную погрешность из результатов серии измерений?
7. Как распределяются погрешности по диапазону зенитного угла при фиксированных визирном угле и азимуте?
8. Как распределяются погрешности по диапазону визирного угла при фиксированных зенитном угле и азимуте?

3.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Исследование систематических погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы

Цель

- определение систематических погрешностей телеметрической навигационной системы при измерении визирного угла и изучение их распределения по динамическим диапазонам.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при экспериментальных исследованиях метрологических характеристик телеметрических навигационных систем.

Задание

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульту оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и зенитного угла:
 - 2.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta = 10^\circ$;
 - 2.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha = 55^\circ$;
 - 2.3. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 30° до 330° с шагом 30° ;
 - 2.4. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta = 55^\circ$;
 - 2.5. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha = 185^\circ$;
 - 2.6. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 30° до 330° с шагом 30° ;

- 2.7. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=75^\circ$;
- 2.8. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=295^\circ$;
- 2.9. по шкале визирного угла последовательно установить углы φ от 30° до 330° с шагом 30° ;
- 2.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{\text{абс}} = \varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{цаэ}};$$

- 2.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{\text{отн}} = \frac{\varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{цаэ}}}{\varphi_{\text{цаэ}}};$$

- 2.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{\text{прив}} = \frac{\varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{цаэ}}}{180^i};$$

- 2.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\text{аддит}} = \frac{\Delta\varphi_{(+)} + \Delta\varphi_{(-)}}{2}.$$

3. Измеренные значения визирных углов и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

		$\theta=10^\circ; \alpha=55^\circ$			$\theta=55^\circ; \alpha=185^\circ$			$\theta=75^\circ; \alpha=295^\circ$				
$\varphi_{\text{зад}}$, град	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
30												
60												
...												
150												
180												
	$\Delta_{(+)}$				-				-			
	$\Delta_{(-)}$				-				-			
	$\Delta_{\text{аддит}}$				-				-			

4. Построить графики погрешностей: $\Delta\varphi_{абс}=f(\varphi_{зад})$; $\Delta\varphi_{относ}=f(\varphi_{зад})$; $\Delta\varphi_{прив}=f(\varphi_{зад})$.

5. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей:

$$\Delta\varphi' = \Delta\varphi - \Delta_{адд}$$

6. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

	$\theta=3^\circ; \alpha=55^\circ$			$\theta=55^\circ; \alpha=185^\circ$			$\theta=75^\circ; \alpha=295^\circ$					
$\varphi_{зад}$, град	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{относ}$	$\Delta'_{прив}$	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{относ}$	$\Delta'_{прив}$	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{относ}$	$\Delta'_{прив}$
30												
60												
...												
150												
180												

7. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и визирного угла:

7.1. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=35^\circ$;

7.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=75^\circ$;

7.3. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;

7.4. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=125^\circ$;

7.5. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=185^\circ$;

7.6. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;

7.7. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=275^\circ$;

7.8. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=255^\circ$;

7.9. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;

7.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{абс} = \varphi_{эц} - \varphi_{ца}$$

7.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{относ} = \frac{\varphi_{эц} - \varphi_{ца}}{\varphi_{ца}}$$

7.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{\text{прив}} = \frac{\varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{цаэ}}}{90^i};$$

7.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;

7.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;

7.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\text{аддит}} = \frac{\Delta\varphi_{(+)} + \Delta\varphi_{(-)}}{2}.$$

8. Измеренные значения визирных углов и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

	$\varphi=35^\circ; \alpha=75^\circ$				$\varphi=125^\circ; \alpha=185^\circ$				$\varphi=275^\circ; \alpha=255^\circ$			
$\theta_{\text{зад}}$, град	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
15												
30												
...												
300												
330												
	$\Delta_{(+)}$				-				-			
	$\Delta_{(-)}$				-				-			
	$\Delta_{\text{аддит}}$				-				-			

9. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей:

$$\Delta\varphi' = \Delta\varphi - \Delta_{\text{аддит}}.$$

10. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

	$\varphi=35^\circ; \alpha=75^\circ$				$\varphi=125^\circ; \alpha=185^\circ$				$\varphi=275^\circ; \alpha=255^\circ$			
$\theta_{\text{зад}}$, град	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$	$\varphi_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$
15												
30												
...												
300												
330												

11. Построить графики погрешностей: $\Delta\varphi_{абс}=f(\theta_{зад})$; $\Delta\varphi_{относ}=f(\theta_{зад})$;
 $\Delta\varphi_{прив}=f(\theta_{зад})$.
12. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- графики погрешностей;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение относительной погрешности.
2. Назвать признаки, по которым классифицируются погрешности.
3. Дать определения случайных и систематических погрешностей.
4. Дать определение инструментальной погрешности.
5. Дать определение статической и динамической погрешностям.
6. Как определяется наибольшие и наименьшие значения погрешностей по диапазонам распределения?
7. Как исключают аддитивную погрешность из результатов серии измерений?
8. Как распределяются погрешности по диапазону зенитного угла при фиксированных визирном угле и азимуте?
9. Как распределяются погрешности по диапазону визирного угла при фиксированных зенитном угле и азимуте?

3.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Исследование систематических погрешностей преобразователя азимута телеметрической навигационной системы

Цель

- определение систематических погрешностей телеметрической навигационной системы при измерении азимута и изучение их распределения по динамическим диапазонам.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при экспериментальных исследованиях метрологических характеристик телеметрических навигационных систем.

Задание

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульта оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя азимута телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях визирного и зенитного углов:
 - 2.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta = 7^\circ$;
 - 2.2. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi = 50^\circ$;

- 2.3. по шкале азимута последовательно установить углы α от 0° до 180° с шагом 30° ;
- 2.4. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=50^\circ$;
- 2.5. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=175^\circ$;
- 2.6. по шкале азимута последовательно установить углы α от 0° до 180° с шагом 30° ;
- 2.7. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=80^\circ$;
- 2.8. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=310^\circ$;
- 2.9. по шкале азимута последовательно установить углы α от 0° до 180° с шагом 30° ;
- 2.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{a}\dot{a}\ddot{n}} = \alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}};$$

- 2.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{i}\dot{o}\dot{i}\ddot{n}} = \frac{\alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}}{\alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}};$$

- 2.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{i}\dot{o}\dot{e}\dot{a}} = \frac{\alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}}{180^i};$$

- 2.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 2.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\dot{a}\dot{a}\dot{e}\dot{o}} = \frac{\Delta\alpha_{(+)} + \Delta\alpha_{(-)}}{2}.$$

3. Измеренные значения азимута и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

	$\theta=7^\circ; \varphi=50^\circ$				$\theta=50^\circ; \varphi=175^\circ$				$\theta=80^\circ; \varphi=310^\circ$			
$\alpha_{зад},$ град	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{отн}$	$\Delta_{прив}$	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{отн}$	$\Delta_{прив}$	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{отн}$	$\Delta_{прив}$
0												
30												
60												
...												
150												
180												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
Δ_{addum}					-				-			

4. Построить графики погрешностей: $\Delta\alpha_{абс}=f(\alpha_{зад}); \Delta\alpha_{относ}=f(\alpha_{зад}); \Delta\alpha_{прив}=f(\alpha_{зад})$.

5. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей:

$$\Delta\alpha' = \Delta\alpha - \Delta_{\text{адд}}.$$

6. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

	$\theta=7^\circ; \varphi=50^\circ$				$\theta=50^\circ; \varphi=175^\circ$				$\theta=80^\circ; \varphi=310^\circ$			
$\alpha_{зад},$ град	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	$\alpha_{изм},$ град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$
30												
60												
...												
150												
180												

7. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя азимута телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и визирного угла:

7.1. по шкале визирного угла УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=18^\circ$;

7.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=15^\circ$;

7.3. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;

7.4. по шкале визирного угла УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=135^\circ$;

7.5. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=165^\circ$;

7.6. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;

- 7.7. по шкале визирного угла УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=295^\circ$;
- 7.8. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=315^\circ$;
- 7.9. по шкале зенитного угла последовательно установить углы θ от 15° до 90° с шагом 15° ;
- 7.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{a}\dot{a}\dot{n}} = \alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}};$$

- 7.11. вычислить относительную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{i}\dot{o}\dot{i}\dot{i}\dot{n}} = \frac{\alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}}{\alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}};$$

- 7.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta\alpha_{\dot{i}\dot{o}\dot{e}\dot{a}} = \frac{\alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \alpha_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}}}{180};$$

- 7.13. из вычисленных значений погрешностей выбираются наибольшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 7.14. из вычисленных значений погрешностей выбираются наименьшие значения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- 7.15. определить аддитивную составляющую абсолютной, относительной и приведенной погрешности:

$$\Delta_{\dot{a}\dot{a}\dot{a}\dot{e}\dot{o}} = \frac{\Delta\alpha_{(+)} + \Delta\alpha_{(-)}}{2}.$$

8. Измеренные значения визирных углов и вычисленные значения погрешностей занести в таблицу:

$\theta_{\text{зад}}$, град	$\varphi=18^\circ; \alpha=15^\circ$				$\varphi=135^\circ; \alpha=165^\circ$				$\varphi=295^\circ; \alpha=315^\circ$			
	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
15												
30												
...												
75												
90												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
$\Delta_{\text{аддит}}$					-				-			

9. Произвести вычисление абсолютной, относительной и приведенной погрешностей с исключением аддитивной составляющей:

$$\Delta\alpha' = \Delta\alpha - \Delta_{\text{адд}}.$$

10. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей занести в таблицу:

$\theta_{\text{зад}}$, град	$\varphi=18^\circ; \alpha=15^\circ$			$\varphi=135^\circ; \alpha=165^\circ$			$\varphi=295^\circ; \alpha=315^\circ$					
	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$	$\alpha_{\text{изм}}$, град	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$
15												
30												
...												
75												
90												

11. Построить графики погрешностей: $\Delta\alpha_{\text{абс}}=f(\theta_{\text{зад}})$; $\Delta\alpha_{\text{относ}}=f(\theta_{\text{зад}})$;
 $\Delta\alpha_{\text{прив}}=f(\theta_{\text{зад}})$.

12. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- графики погрешностей;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение приведенной погрешности.
2. Назвать признаки, по которым классифицируются погрешности.
3. Дать определение прогрессирующей погрешности.
4. Дать определение методической погрешности.
5. Как определяется наибольшие и наименьшие значения погрешностей по диапазонам распределения?
6. Как исключают аддитивную погрешность из результатов серии измерений?
7. Как распределяются погрешности по диапазону зенитного угла при фиксированных визирном угле и азимуте?
8. Как распределяются погрешности по диапазону визирного угла при фиксированных зенитном угле и азимуте?

3.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы

Цель

- исследование метрологических характеристик телеметрической навигационной систем и оценка случайных погрешностей преобразователя зенитного угла.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при исследовании и оценке случайных погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационных систем.

Задание

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульта оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=65^\circ$) и визирного угла($\varphi=5^\circ$):
 - 2.1. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=5^\circ$;
 - 2.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=65^\circ$;

2.3. измерить зенитный угол телесистемы θ при действительных значениях зенитных углов $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 100^\circ, 120^\circ, 140^\circ$. В каждой точке производится восемь измерений заданного зенитного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;

2.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n};$$

2.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\theta) = M(\theta^2) - M(\theta)^2;$$

2.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\theta)};$$

2.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитного угла:

$$\Delta_{\text{д\text{а}н}} = \theta_{\text{э\text{с}и}} - \theta_{\text{с\text{д}а}};$$

2.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

2.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

2.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

2.11. полученные данные занести в таблицу:

θ (при $\alpha=65^\circ$, $\varphi=5^\circ$), град		0	20	40	60	80	100	120	140
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\theta)$									
$D(\theta)$									
$\sigma(\theta)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

3. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=135^\circ$) и визирного угла ($\varphi=95^\circ$):

- 3.1. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=95^\circ$;
- 3.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=135^\circ$;
- 3.3. измерить зенитный угол телесистемы θ при действительных значениях углов $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 100^\circ, 120^\circ, 140^\circ$. В каждой точке производится восемь измерений заданного зенитного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
- 3.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n};$$

- 3.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\theta) = M(\theta^2) - M(\theta)^2;$$

- 3.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\theta)};$$

- 3.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитного угла:

$$\Delta_{\text{абс}} = \theta_{\text{эци}} - \theta_{\text{цаэ}};$$

- 3.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 3.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 3.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 3.11. полученные данные занести в таблицу:

θ (при $\alpha=135^\circ$, $\varphi=95^\circ$), град		0	20	40	60	80	100	120	140
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\theta)$									
$D(\theta)$									
$\sigma(\theta)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

4. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=220^\circ$) и визирного угла($\varphi=255^\circ$):

- 4.1. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы визирный угол $\varphi=255^\circ$;
- 4.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=220^\circ$;
- 4.3. измерить зенитный угол телесистемы θ при действительных значениях углов 0° , 20° , 40° , 60° , 80° , 100° , 120° , 140° . В каждой точке производится восемь измерений заданного зенитного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
- 4.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n};$$

- 4.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\theta) = M(\theta^2) - M(\theta)^2;$$

- 4.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\theta)};$$

- 4.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитного угла:

$$\Delta_{\text{абс}} = \theta_{\text{эци}} - \theta_{\text{цаэ}};$$

- 4.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 4.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 4.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 4.11. полученные данные занести в таблицу:

θ (при $\alpha=220^\circ$, $\varphi=255^\circ$), град		0	20	40	60	80	100	120	140
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\theta)$									
$D(\theta)$									
$\sigma(\theta)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства измерений.
2. Дать определение абсолютной погрешности.
3. Дать определение прогрессирующей погрешности.
4. Дать определение инструментальной погрешности.
5. Дать определение математическому ожиданию случайной величины.
6. Дать определение среднему квадратическому отклонению случайной величины.

3.6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы

Цель

- исследование метрологических характеристик телеметрической навигационной систем и оценка случайных погрешностей преобразователя визирного угла.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при исследовании и оценке случайных погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационных систем.

Задание

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульту оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=25^\circ$) и зенитного угла($\theta=15^\circ$):
 - 2.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=15^\circ$;
 - 2.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=25^\circ$;
 - 2.3. измерить визирный угол телесистемы φ при действительных значениях углов $0^\circ, 40^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 160^\circ, 200^\circ, 240^\circ, 280^\circ$. В каждой точке производится восемь измерения заданного визирного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
 - 2.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n};$$

- 2.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\varphi) = M(\varphi^2) - M(\varphi)^2;$$

- 2.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\varphi)};$$

- 2.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирного угла:

$$\Delta_{\text{аан}} = \varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{цаа}};$$

- 2.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 2.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 2.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 2.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\alpha=25^\circ$, $\theta=15^\circ$)		0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\varphi)$									
$D(\varphi)$									
$\sigma(\varphi)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

3. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=125^\circ$) и зенитного угла ($\theta=75^\circ$):

3.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=75^\circ$;

3.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=125^\circ$;

3.3. измерить визирный угол телесистемы φ при действительных значениях углов 0° , 40° , 80° , 120° , 160° , 200° , 240° , 280° . В каждой точке производится восемь измерений заданного визирного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;

3.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n};$$

3.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\varphi) = M(\varphi^2) - M(\varphi)^2;$$

3.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\varphi)};$$

3.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирного угла:

$$\Delta_{\dot{a}\dot{a}\dot{n}} = \varphi_{\dot{e}\dot{c}\dot{i}} - \varphi_{\dot{c}\dot{a}\dot{a}};$$

3.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

3.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

3.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

3.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\theta=75^\circ$, $\alpha=125^\circ$)	0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1							
	2							
	3							
	4							
Справа	5							
	6							
	7							
	8							
$M(\varphi)$								
$D(\varphi)$								
$\sigma(\varphi)$								
Δ_1								
Δ_2								
Δ_3								
Δ_4								
Δ_5								
Δ_6								
Δ_7								
Δ_8								
$\bar{\Delta}'$								
$\bar{\Delta}''$								
Δ_s								
$\sigma(\Delta)$								

4. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута ($\alpha=255^\circ$) и зенитного угла ($\theta=5^\circ$):

4.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=5^\circ$;

4.2. по шкале азимута УИТС установить для телесистемы угол $\alpha=255^\circ$;

4.3. измерить визирный угол телесистемы φ при действительных значениях углов $0^\circ, 40^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 160^\circ, 200^\circ, 240^\circ, 280^\circ$. В каждой точке производится восемь измерений заданного визирного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;

4.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n};$$

4.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\varphi) = M(\varphi^2) - M(\varphi)^2;$$

4.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\varphi)};$$

4.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирного угла:

$$\Delta_{\text{абс}} = \varphi_{\text{эци}} - \varphi_{\text{сдв}};$$

4.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

4.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

4.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

4.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\theta=5^\circ$, $\alpha=255^\circ$)		0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\varphi)$									
$D(\varphi)$									
$\sigma(\varphi)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение систематической составляющей погрешности средства измерения.
2. Дать определение относительной погрешности.
3. Дать определения случайных и систематических погрешностей.
4. Дать определение методической погрешности.
5. Дать определение основной и дополнительной погрешностям.
6. Дать определение дисперсии случайной величины.

3.7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя азимута телеметрической навигационной системы

Цель

- исследование метрологических характеристик телеметрической навигационной систем и оценка случайных погрешностей преобразователя азимута.

Основные задачи

- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение практических навыков при исследовании и оценке случайных погрешностей преобразователя азимута телеметрической навигационных систем.

Задание на лабораторную работу

1. Подготовить телесистему к работе:
 - 1.1. закрепить телесистему в зажимном узле УИТС;
 - 1.2. произвести монтаж кабельных линий в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рис.3;
 - 1.3. подключить блок питания к наземному пульта оператора;
 - 1.4. включить персональный компьютер;
 - 1.5. включить наземный пульт оператора;
 - 1.6. запустить на персональном компьютере программное обеспечение «Gnom.exe», «Pult.exe».

ВНИМАНИЕ: Во избежание выхода из строя наземного пульта оператора и компьютера переключение режима работы и соединение/разъединение кабелей производить при выключенном питании наземного пульта оператора.

2. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя азимута телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях визирного и зенитного углов ($\varphi=35^\circ$, $\theta=20^\circ$):
 - 2.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=20^\circ$;
 - 2.2. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы угол $\varphi=35^\circ$;
 - 2.3. измерить азимут телесистемы α при действительных значениях углов 0° , 40° , 80° , 120° , 160° , 200° , 240° , 280° . В каждой точке производится восемь измерения заданного азимута, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;

- 2.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n};$$

- 2.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\alpha) = M(\alpha^2) - M(\alpha)^2;$$

- 2.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\alpha)};$$

- 2.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta_{\alpha_{\bar{a}\bar{a}\bar{n}}} = \alpha_{\bar{e}\bar{c}\bar{i}} - \alpha_{\bar{c}\bar{a}\bar{a}};$$

- 2.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 2.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 2.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 2.11. полученные данные занести в таблицу:

α , град (при $\varphi=35^\circ$, $\theta=20^\circ$)		0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\alpha)$									
$D(\alpha)$									
$\sigma(\alpha)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

3. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя азимута телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях визирного и зенитного углов ($\varphi=100^\circ$, $\theta=60^\circ$):

- 3.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=60^\circ$;
- 3.2. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы угол $\varphi=100^\circ$;
- 3.3. измерить азимут телесистемы α при действительных значениях углов 0° , 40° , 80° , 120° , 160° , 200° , 240° , 280° . В каждой точке производится восемь измерений заданного азимута, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
- 3.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n};$$

- 3.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\alpha) = M(\alpha^2) - M(\alpha)^2;$$

- 3.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\alpha)};$$

- 3.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta_{\alpha_{\text{изм}}} = \alpha_{\text{эци}} - \alpha_{\text{цаи}};$$

- 3.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 3.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 3.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 3.11. полученные данные занести в таблицу:

$\alpha, \text{град}$ (при $\varphi=100^\circ$, $\theta=60^\circ$)		0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\alpha)$									
$D(\alpha)$									
$\sigma(\alpha)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

4. Выполнить оценку случайной погрешности преобразователя азимута телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях визирного и зенитного углов ($\varphi=220^\circ$, $\theta=75^\circ$):

- 4.1. по шкале зенитных углов УИТС установить для телесистемы зенитный угол $\theta=75^\circ$;
- 4.2. по шкале визирных углов УИТС установить для телесистемы угол $\varphi=220^\circ$;
- 4.3. измерить азимут телесистемы α при действительных значениях углов 0° , 40° , 80° , 120° , 160° , 200° , 240° , 280° . В каждой точке производится восемь измерений заданного азимута, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
- 4.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n};$$

- 4.5. вычислить дисперсию измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$D(\alpha) = M(\alpha^2) - M(\alpha)^2;$$

- 4.6. вычислить среднее квадратическое отклонение измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$\sigma = \sqrt{D(\alpha)};$$

- 4.7. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений азимута:

$$\Delta_{\alpha_{\bar{a}\bar{n}}} = \alpha_{\bar{e}\bar{c}\bar{i}} - \alpha_{\bar{c}\bar{a}\bar{a}};$$

- 4.8. вычислить средние значения погрешности в заданной точке диапазона измерений, полученные экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших (для $\bar{\Delta}'$) и больших (для $\bar{\Delta}''$) значений:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i', \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i'';$$

- 4.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2};$$

- 4.10. вычислить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средства измерений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}};$$

- 4.11. полученные данные занести в таблицу:

α , град (при $\varphi=220^\circ$, $\theta=75^\circ$)		0	40	80	120	160	200	240	280
Слева	1								
	2								
	3								
	4								
Справа	5								
	6								
	7								
	8								
$M(\alpha)$									
$D(\alpha)$									
$\sigma(\alpha)$									
Δ_1									
Δ_2									
Δ_3									
Δ_4									
Δ_5									
Δ_6									
Δ_7									
Δ_8									
$\overline{\Delta}'$									
$\overline{\Delta}''$									
Δ_s									
$\sigma(\Delta)$									

5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет оформляется на белой бумаге формата А4 с титульным листом.

Отчет должен содержать:

- цель и задачи лабораторной работы;
- таблицы измеренных результатов;
- выводы.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение приведенной погрешности.
2. Что понимают под грубой погрешностью?
3. Дать определение статической и динамической погрешностям.
4. Дать определение дисперсии случайной величины.
5. Дать определение математическому ожиданию случайной величины.

4. Список литературы

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учеб. пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2009. – 560 с. ил.
2. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
3. ГОСТ 16263-70. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения.

Учебное издание

**Миловзоров Георгий Владимирович
Миловзоров Алексей Георгиевич
Галикеев Ильгизар Абузарович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Метрология, квалиметрия и стандартизация»**

Компьютерный набор и верстка А.Г. Миловзоров
Авторская редакция
Напечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать 14.05.12. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 3,2
Тираж ____ экз. Заказ № _____.

Издательство «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4.