

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева
Кафедра бурения нефтяных и газовых скважин

А.Г. Миловзоров, И.А. Галикеев, А.Д. Дё, Н.П. Дорофеев

**Контроль метрологических характеристик
телеметрических навигационных систем**

Учебно-методическое пособие



Ижевск

2023

УДК 622.24:622.276(075.8)
ББК 33.131-7я73
К651

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: канд. экон. наук, доцент С.Б. Колесова.

Миловзоров А.Г., Галикеев И.А., Дё А.Д., Дорофеев Н.П.

К651 Контроль метрологических характеристик телеметрических навигационных систем : учеб.-метод. пособие : [Электрон. ресурс]. – Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – 44 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.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по профилям 21.03.01.02 «Бурение нефтяных и газовых скважин» (направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»), 21.04.01.02 «Строительство нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях» (направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»).

УДК 622.24:622.276(075.8)
ББК 33.131-7я73

© А.Г. Миловзоров, И.А. Галикеев,
А.Д. Дё, Н.П. Дорофеев, 2023
© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2023

Оглавление

Введение.....	4
1. Краткие теоретические сведения	6
1.1. Бурение скважин с применением телеметрических навигационных систем.....	6
1.2. Описание конструкции и принцип действия установки для исследований метрологических характеристик телеметрических навигационных систем	11
1.3. Состав телеметрической навигационной системы.....	14
1.4. Программное обеспечение	16
2. Основные понятия и определения теории погрешностей	18
2.1. Классификация погрешностей.....	18
3. Задание и методика выполнения лабораторных работ, требования к содержанию и оформлению отчета, контрольные вопросы	21
3.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. «Изучение телеметрической навигационной системы и установки для исследования метрологических характеристик».....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «Исследование систематических погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы»	22
3.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. «Исследование систематических погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы».....	27
3.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. «Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы».....	31
3.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. «Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы».....	37
4. Список литературы.....	43

Введение

На пороге XXI века произошли существенные изменения в технологии строительства скважин, в частности были внедрены долота PDC, требующие высокие крутящие моменты, замены низкомоментных турбобуров на высокомоментные винтовые забойные двигатели, применение роторных управляемых систем... Изменения в технологии привели к существенному росту механических скоростей бурения, проходки на долото, но наряду с этим возникла потребность постоянного контроля траектории скважин, так как из-за высокого крутящего момента вероятность искривления ствола возрастает.

В процессе строительства не только горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов, но и наклонно-направленных и даже вертикальных скважин современные технологии предусматривают использование телеметрических навигационных систем. 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 21.03.01.02 «Бурение нефтяных и газовых скважин» (направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»), 21.04.01.02 «Строительство нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях» (направление подготовки 21.04.01 «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 инклинометрического модуля телеметрической навигационной системы.

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

- ПК-5. Способен анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли;

- ПК-6. Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли;

- ПК-9. Способен участвовать в управлении технологическими комплексами (автоматизированными промыслами, системой диспетчерского управления и т.д.), принимать решения в условиях неопределенности;

- ОК-7. Способен самоорганизации и самообразованию.

- ОПК-4. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

- ОПК-5. Способен решать задачи в области профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств;

- ОПК-1. Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

- ПК-2. Способен осуществлять и корректировать технологические процессы при строительстве, ремонте и эксплуатации скважин различного назначения и профиля ствола на суше и на море, транспорте и хранении углеводородного сырья;

- ПК-3. Способен эксплуатировать и обслуживать технологическое оборудование, используемое при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья;

- ПК-13. Готов решать технические задачи по предотвращению и ликвидации осложнений и аварийных ситуаций при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.

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 инклинометрического модуля телеметрической навигационной системы, которая используется в процессе строительства вертикальных, наклонно-направленных, горизонтальных и многоствольных скважин, боковых 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. Бурение скважин с применением телеметрических навигационных систем

Бурение скважин на углеводороды начато в середине 19 века, причиной возрастающего интереса к ним стало изобретение двигателей внутреннего сгорания. Трудно точно сказать, где было начато бурение на нефть раньше в Российской империи или в Америке, но это и не важно. С тех пор произошло несколько революционных изменений в технологии строительства скважин. Возросли глубины скважин с полутора сотен метров до нескольких километров. Внедрялись новые технические и технологические решения, такие как турбинное бурение, использование различных типов породоразрушающего инструмента, систем промывки, промывочных жидкостей, на смену которым приходили более совершенные технические средства и технологии. Менялись конструкции скважин, траектории. На сегодняшний день одним из направлений развития строительства скважин является обеспечение более высокой степени охвата залежей за счёт бурения горизонтальных скважин, боковых, в первую очередь горизонтальных стволов, многоствольных и многозабойных скважин.

На вопрос: «что такое горизонтальная скважина?» чаще всего отвечают, что это скважина, на конечном участке которой угол составляет 90° . А если пласт восстающий или падающий по направлению бурения и мощность его не велика для чего нам 90° ? Не понятнее ли горизонтальной назвать скважину, конечный участок ствола которой сориентирован относительно продуктивного пласта? Это с точки зрения разработки залежи. С точки зрения бурения логичнее отнести к горизонтальным скважины, в которых шлам не оседает на забой. В этом случае нижняя часть колонны труб сжата и её продвижение возможно только под нагрузкой сверху, желательнее снижение веса КНБК.

Не лучше ситуация с пониманием радиусов кривизны. Чаще всего при радиусах кривизны свыше 286 метров скважины относят к скважинам с большим радиусам кривизны, но при интенсивности $2^\circ/10\text{м}$. Намного логичнее классификацию по радиусам кривизны проводить по технологическим особенностям. Трудно представить вращение отклонителя при диаметре долота допустим 393,7мм и отклонителе 273мм, или не будет желания в такую скважину спускать колонну диаметром 324 или 340мм. В то же время, при радиусе кривизны 150 метров легко представить вращение КНБК с долотом 124мм и отклонителем 106мм и спуск колонны 102мм не вызовет проблем. Намного логичнее радиусы кривизны увязывать с диаметрами долот, при этом учитывать их преимущества и недостатки.

Основные особенности скважин с большим радиусом кривизны.

Преимущества:

- Возможно вращение отклонителя в интервале набора угла;
- Обеспечивается максимальный отход и протяжённость горизонтального ствола;

- Неограниченный выбор компоновок бурильной колонны;
- Не возникает проблем с проходимостью бурильных компоновок и обсадных колонн;
- Нет проблем с проведением геофизических исследований.

Недостатки

- Вскрывается значительная часть разреза, возможно пересечение криволинейным стволом интервалов осложнений;
- Более протяжённые стволы;
- Сложность построения траекторий и обеспечения точного выхода на кровлю продуктивных отложений с необходимыми угловыми параметрами.

Основные особенности скважин со средним радиусом кривизны.

Преимущества

- Возможно вращение бурильного инструмента в интервале набора угла;
- Отход и протяжённость горизонтального ствола почти такие как при бурении по большому радиусу кривизны;
- Используются только стандартные элементы компоновок;
- Не возникает проблем с проходимостью компоновок и обсадных колонн;
- Нет проблем с геофизическими исследованиями;
- Сокращается, по сравнению со скважинами с большим радиусом кривизны, вскрытие разреза, снижается риск осложнений;
- Проще обеспечивать попадание в кровлю продуктивных отложений с требуемыми угловыми параметрами;
- Сокращается протяжённость ствола.

Недостатки

- Не допускается вращение КНБК в интервале искривления;
- Необходимы относительно частые спускоподъёмные операции для регулировки радиуса кривизны.

Основные особенности скважин с малым или коротким радиусом кривизны.

Преимущества

- Возможен набор кривизны в пределах продуктивного пласта;
- Нет опасности непопадания в цель;

- Не вскрываются интервалы с возможными осложнениями.

Недостатки

- Не допускается вращение КНБК и бурильного инструмента;
- Требуются специальные элементы КНБК и специальный бурильный инструмент;
- Сложно управлять траекторией;
- Нет стандартного решения с проведением геофизических исследований и спуском обсадных колонн;
- Ограниченная протяжённость горизонтального ствола.

Часто в литературе упоминаемый ультракороткий радиус в классификацию вводить нет смысла, так как это не что иное как глубокая падающая перфорация. В этих стволах не только управление, но даже контроль траектории проблематичен.

К скважинам с большим радиусом кривизны предлагается относить скважины радиус искривления которых более чем 1000 раз больше диаметра долота. К Скважинам со средним радиусом кривизны - скважины с радиусами кривизны от 300 до 1000 диаметров долота. К скважинам с коротким (малым) радиусом кривизны - скважины с радиусами от 150 до 300 диаметров долота.

Исходя из особенностей современных технологий и несмотря на ряд недостатков абсолютное большинство скважин на современном этапе развития технологий и в ближайшей перспективе бурится по большому радиусу кривизны, так как позволяет сочетать криволинейные и прямолинейные, получающиеся при вращении бурильной колонны, интервалы бурения. Преимуществом бурения по большому радиусу кривизны становится возможность бурения от башмака предыдущей колонны до следующей колоны одним долблением, что позволяет долото PDC и винтовой забойный двигатель. Наиболее актуально преимущество скважин с большим радиусом кривизны для бурения боковых стволов, где возможно вскрытие интервалов с несовместимыми условиями бурения. Осуществление технологии бурения по большому радиусу кривизны накладывает дополнительные требования к телеметрическим системам в процессе бурения, а именно продолжительная стабильная работа при разных режимах бурения.

Хочется вернуться к определению понятия «скважина». Изначально определение звучало «вертикальная горная выработка...». Теперь слово вертикальная опущено, но давайте посмотрим диалектику Вертикальная скважина – бурится фактически в одномерном пространстве, ведётся измерения только глубины. Наклонно-направленная скважина, как правило строится в двухмерном пространстве, измеряются как глубина по стволу и вертикали, так и отход по заданному азимуту. При бурении горизонтальных скважин необходимо пробурить вертикальный участок на устье и участок Т1-Т3 в коридоре бурения горизонтального ствола, причём эти участки расположены взаимно независимо, т.е. вероятнее всего не располагаются в одной плоскости.

Аналогично проектированию конструкции скважины, проектирование траектории также необходимо начинать снизу вверх (см. рисунок 1). Построим вертикальную плоскость P_1 по линии ТЗ-Т1, в которой от точки Т1 продолжим построение траектории по проектному радиусу кривизны до точки О с нулевым значением зенитного угла. Построим вертикальную плоскость P_2 включающую устье и точку О. В случае если угол между плоскостями больше 120° Рассматриваем возможность построения траектории с набором требуемых параметров в косо́й плоскости по кратчайшей траектории, в противном случае рекомендуемый вариант – ведение наклонно-направленного ствола по пяти интервальному профилю (см. рисунок 2) в плоскости P_2 до точки О, а далее в плоскости P_1 по проектному радиусу до точки Т1 и по проектному коридору бурения. Бурение с одновременным набором зенитного угла и поворотом азимута, как правило, приводит к излишней извилистости ствола, следовательно, увеличению опасности осложнений.

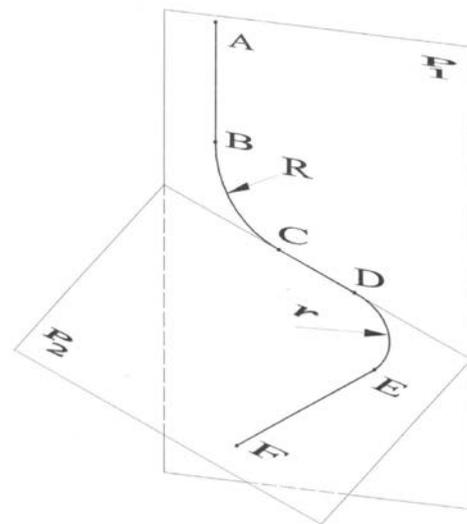


Рис.1 Схема пространственной траектории скважины.

В связи с освоением бурения скважин с применением PDC долот, как правило, выбираются траектории с большим радиусом кривизны, что даёт возможность бурения от башмака предыдущей колонны до следующей колонны одним долблением, причём при бурении до продуктивных отложений однозначно используются компоновки с ВЗД. КНБК в этом случае чаще всего состоит из долота PDC, ВЗД с регулируемым перекосом, НУБТ с телесистемой. В процессе бурения такая компоновка чрезвычайно не стабильна по интенсивности набора угла, которая зависит от нагрузки, смены буримости, углов падения, текущего зенитного угла... Основная причина нестабильности – неопределённость третьей точки касания при известных на долоте и перекосе, а известно искривление ствола скважины происходит в соответствии с теоремой синусов. Для обеспечения определённости третьей точки предлагается установить близкий к полноразмерному центратор над ВЗД, тогда интенсивность набора кривизны будет более предсказуемой.

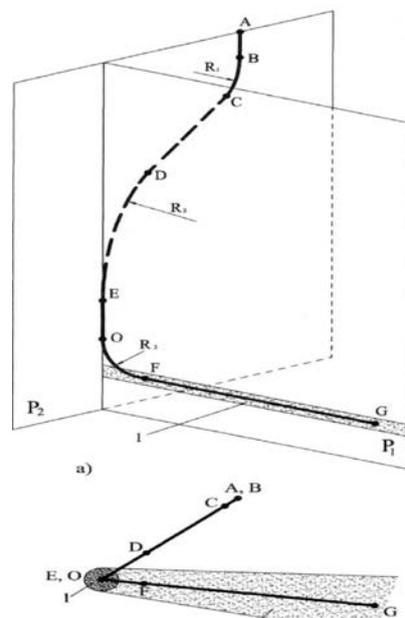


Рис.2 Проектирование скважины в двух вертикальных плоскостях.

Известно, PDC долотам требуются высокие крутящие моменты, которые обеспечиваются ВЗД, но малейшие изменения нагрузки, буримости или иных факторов ведут к изменению положения отклонителя. Для снижения рысканья применяются навигационные телеметрические системы (см. рисунок 3) в процессе бурения, инклинометрические модули которых включают трехосные орт акселерометров и орт магнитометров. Блоки датчиков должны работать в широком диапазоне вибраций с высокой точностью для чего используются акселерометры с амортизацией, позволяющие проводить с высокой точностью измерения гравитации как при углублении, так и в покое. Альтернативный вариант – установка 2 более простых орт акселерометров для процесса углубления и покоя, надёжность работы блока

датчиков повышается. Азимуты определяются после измерения напряжённости магнитного поля в блоке датчиков.



Рис. 3 Телесистема с гидравлически каналом связи с двумя трёхосными ортами акселерометров и ортом феррозондовых магнитометров.

Для снижения влияния магнитных масс КНБК и бурильного инструмента инклинометрический модуль устанавливается внутри немагнитных УБТ (см. рисунок 4). В получивших широкое распространение немагнитных сталях Магнадур, используемых при изготовлении НУБТ, очень высокое содержание (около 20%) марганца при умеренном содержании хрома и других легирующих компонентов. При работе в агрессивных разрезах европейской части России и Восточной Сибири НУБТ из этой стали корродировали. Для повышения коррозионной устойчивости НУБТ предлагается сталь с более низким содержанием марганца, при более высоком содержании хрома, а содержание азота и никеля определяется соотношением.



Рис. 4 Немагнитные УБТ из стали повышенной коррозионной стойкости.

1.2. 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. 5.

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° – 180° . 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.

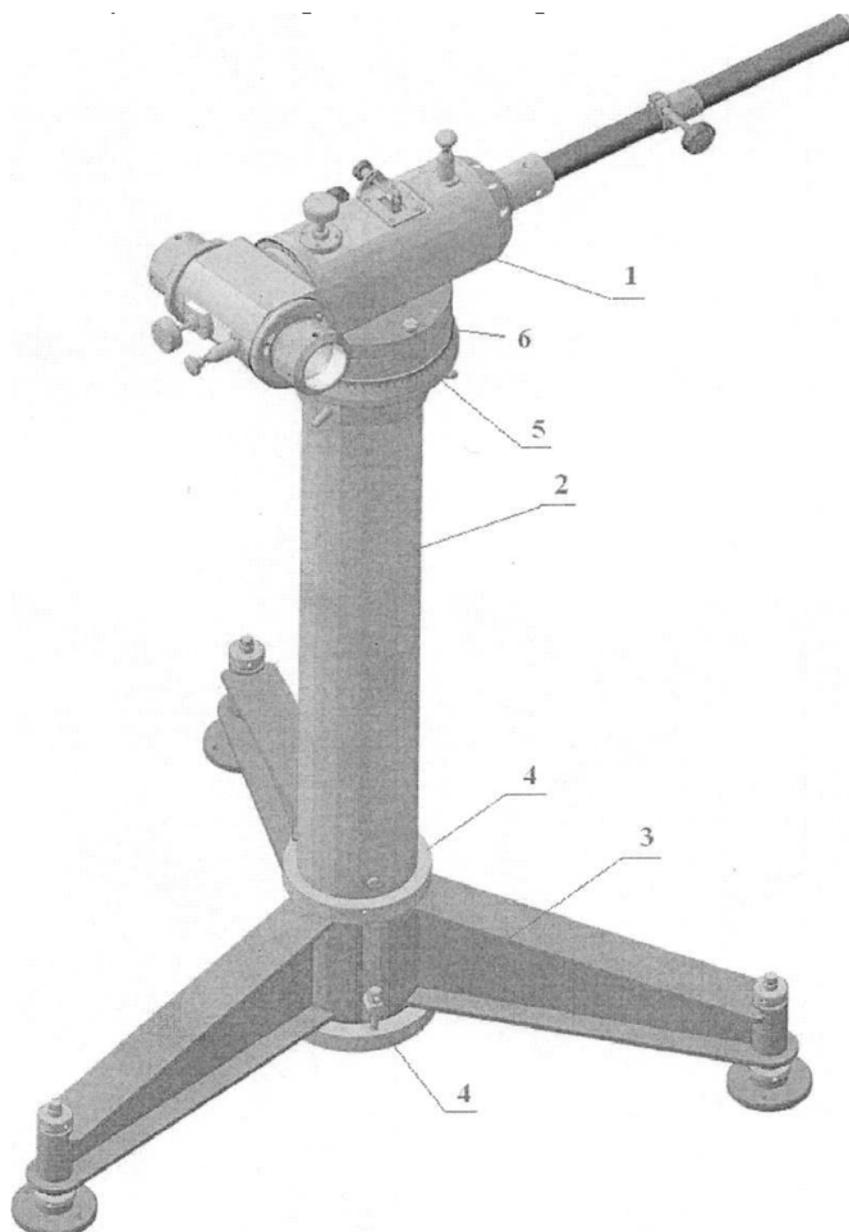


Рис. 5. Внешний вид УИТС

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.

Апсидальная плоскость – вертикальная плоскость по текущему направлению с началом отсчёта сверху.

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. 5 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.

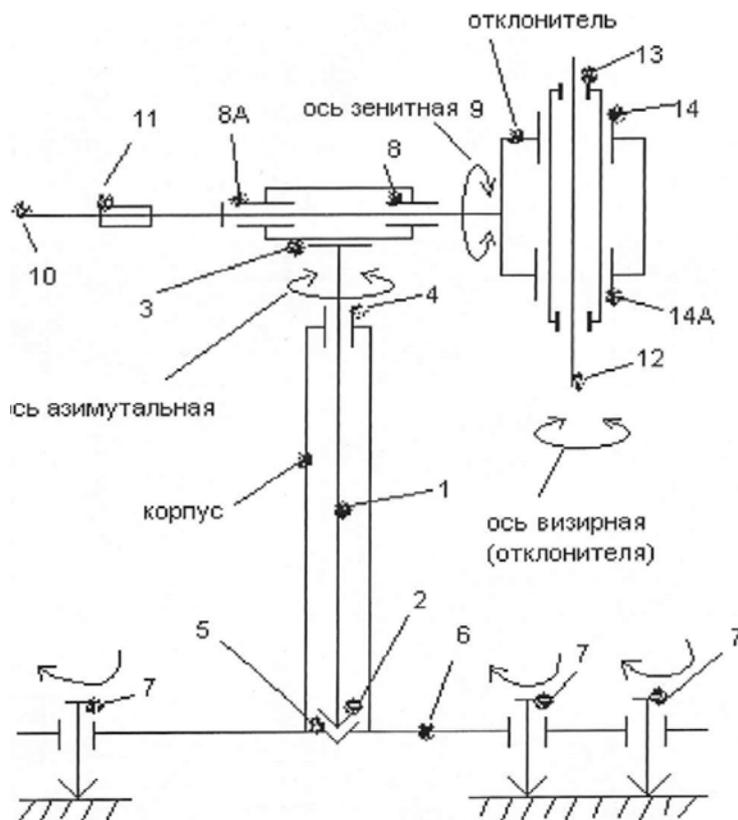


Рис.5. Кинематическая схема УИТС

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.

1.3. 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. 6 представлена структура телесистемы.

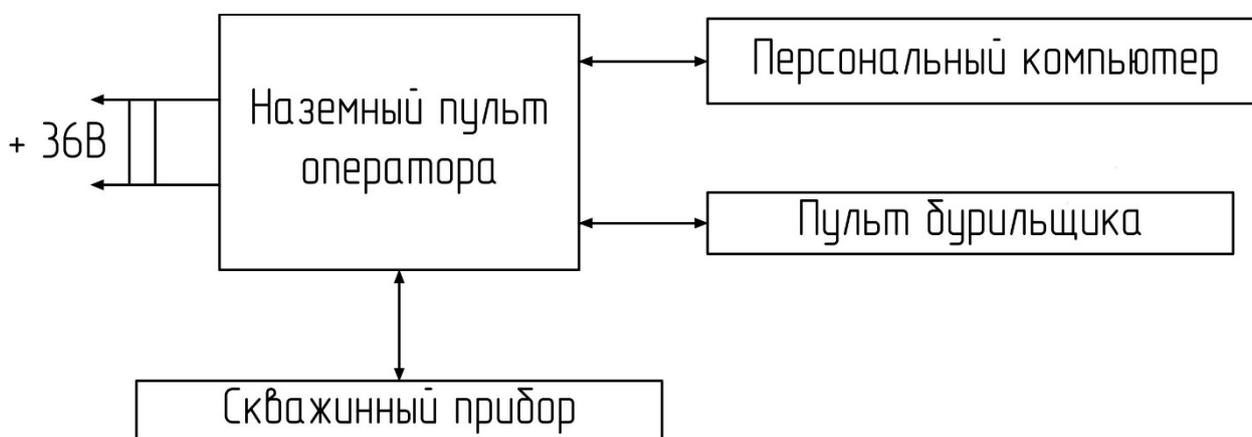


Рис.6. Структура телесистемы

Скважинный прибор устанавливается внутри компоновки низа буровой 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.

1.4. 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. 7 представлено окно программы «Пульт оператора телесистемы».

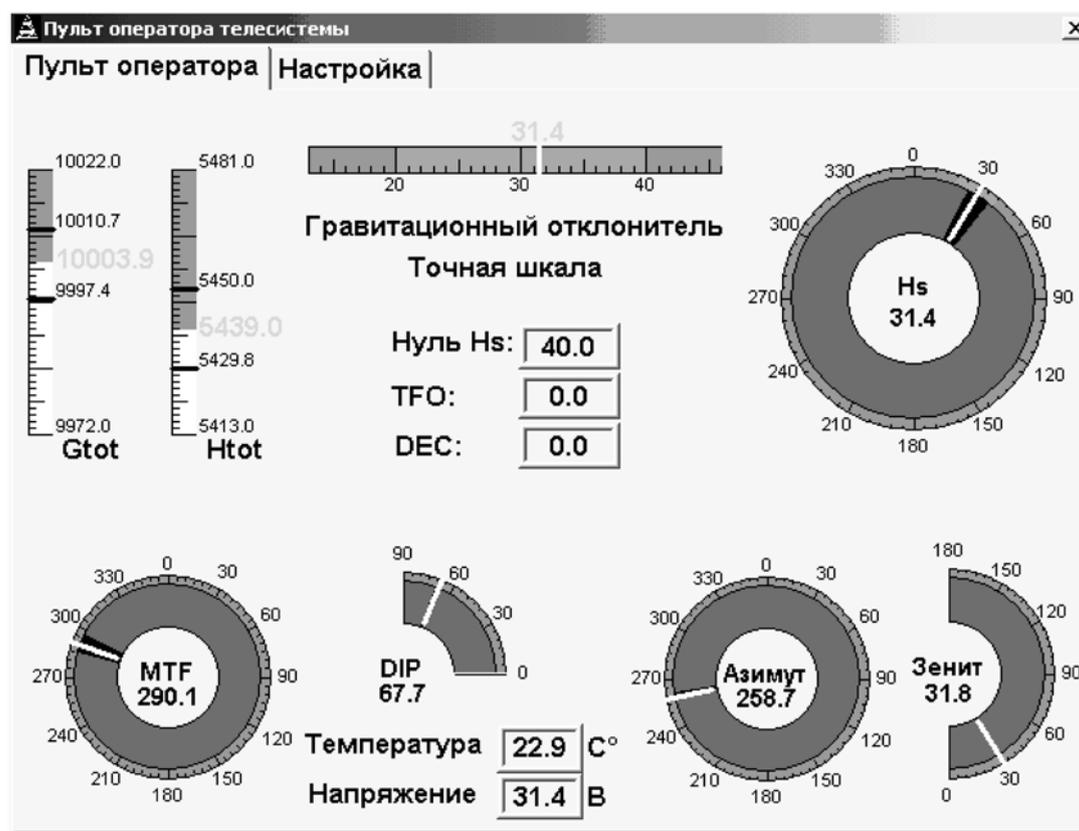


Рис. 7. Окно программы «Пульт оператора телесистемы»

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 относительно апсидальной плоскости, с отсчётом сверху по часовой стрелке от 0 до 360 градусов (Hs);

«Магнитный» – направление ориентации двигателя-отклонителя по отношению к северу (MTF).

«Магнитный отклонитель» используется при малых зенитных углах, когда апсидальная плоскость не определяется. Переключение отклонителя осуществляется в закладке «Настройка».

Грубая и точная шкала показывает какой комплект акселерометров используется в данный момент на скважинном приборе. Скважинный прибор способен автоматически переключаться на грубый или точный режим при возникновении или отсутствии вибрации. Оператор может вручную осуществить переключение режимов 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 (Az) и магнитного отклонителя (MTF).

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

Шкалы значений измеряемых угловых параметров:

Hs - положение двигателя-отклонителя относительно апсидальной плоскости;

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

DIP – угол наклона вектора магнитного поля Земли относительно касательной плоскости в точке измерения;

Азимут – угол между направлением на магнитный северный полюс и направлением ствола скважины по часовой стрелке;

Зенит - угол наклона ствола скважины по отношению к вертикальной оси.

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;

TFO – калибровочный коэффициент двигателя-отклонителя 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:

$$M(X) = \frac{\sum_{i=0}^n X_i}{n}$$

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:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'',$$

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') и больших (для Δ'') значений.

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta'_i - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta''_i - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}}$$

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.

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 апсидальной плоскости.

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 экспериментальном исследовании 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 180° с шагом 30° ;
 - 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 180° с шагом 30° ;
 - 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 180° с шагом 30° ;
 - 2.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений зенитных углов:

$$\Delta\theta_{абс} = \theta_{изм} - \theta_{зад};$$

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

$$\Delta\theta_{относ} = \frac{\theta_{изм} - \theta_{зад}}{\theta_{зад}};$$

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

$$\Delta\theta_{прив} = \frac{\theta_{изм} - \theta_{зад}}{180^\circ}$$

- 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:

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

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

		$\varphi=5^\circ; \alpha=65^\circ$			$\varphi=70^\circ; \alpha=170^\circ$			$\varphi=105^\circ; \alpha=285^\circ$				
$\theta_{зад},$ 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												
...												
150												
180												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
$\Delta_{аддит}$					-				-			

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

$$\Delta\theta' = \Delta\theta - \Delta_{аддит}$$

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												
30												

60												
...												
150												
180												

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 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:

$$\Delta\theta_{абс} = \theta_{изм} - \theta_{зад};$$

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

$$\Delta\theta_{относ} = \frac{\theta_{изм} - \theta_{зад}}{\theta_{зад}};$$

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

$$\Delta\theta_{прив} = \frac{\theta_{изм} - \theta_{зад}}{180^\circ}.$$

- 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:

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

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

		$\theta=25^\circ; \alpha=65^\circ$			$\theta=55^\circ; \alpha=80^\circ$			$\theta=75^\circ; \alpha=115^\circ$				
$\varphi_{зад},$ град	$\theta_{изм},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$	$\varphi_{зад},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$	$\varphi_{зад},$ град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$
0												
30												
60												
...												

300												
330												
$\Delta_{(+)}$				-					-			
$\Delta_{(-)}$				-					-			
$\Delta_{\text{аддит}}$				-					-			

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

$$\Delta\theta' = \Delta\theta - \Delta_{\text{аддит}}$$

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

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

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

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 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 0° 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 0° 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 0° до 330° с шагом 30° ;
 - 2.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{абс} = \varphi_{изм} - \varphi_{зад};$$

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

$$\Delta\varphi_{\text{относ}} = \frac{\varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{зад}}}{\varphi_{\text{зад}}};$$

2.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов

$$\Delta\varphi_{\text{прив}} = \frac{\varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{зад}}}{180^\circ}.$$

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:

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

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	$\Delta_{\text{абс}}$	$\Delta_{\text{отн}}$	$\Delta_{\text{прив}}$
0												
30												
...												
300												
330												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
$\Delta_{\text{аддит}}$					-				-			

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

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

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

6. Полученные результаты погрешностей с исключением аддитивной составляющей 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	$\Delta'_{\text{абс}}$	$\Delta'_{\text{отн}}$	$\Delta'_{\text{прив}}$
0												
30												
...												

300												
330												

7. Выполнить оценку систематической погрешности преобразователя визирного угла телеметрической навигационной системы при фиксированных значениях азимута и зенитного 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 120° , 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 120° , с шагом 15° ;
- 7.10. вычислить абсолютную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов:

$$\Delta\varphi_{абс} = \varphi_{изм} - \varphi_{зад} ;$$

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

$$\Delta\varphi_{относ} = \frac{\varphi_{изм} - \varphi_{зад}}{\varphi_{зад}} ;$$

7.12. вычислить приведенную погрешность для каждого измеренных значений визирных углов

$$\Delta\varphi_{прив} = \frac{\varphi_{изм} - \varphi_{зад}}{90^\circ} .$$

- 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:

$$\Delta\varphi_{аддит} = \Delta\varphi_{(+)} - \frac{|\Delta\varphi_{(+)}| + |\Delta\varphi_{(-)}|}{2} ;$$

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

$\theta_{зад}$, град	$\varphi=35^\circ; \alpha=75^\circ$			$\varphi =125^\circ; \alpha=185^\circ$			$\varphi =275^\circ; \alpha=255^\circ$					
	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$	$\varphi_{изм}$, град	$\Delta_{абс}$	$\Delta_{относ}$	$\Delta_{прив}$
0												
15												

30												
...												
105												
120												
$\Delta_{(+)}$					-				-			
$\Delta_{(-)}$					-				-			
Δ_{addit}					-				-			

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

$$\Delta\varphi' = \Delta\varphi - \Delta_{addit};$$

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

$\theta_{зад},$ град	$\varphi=25^\circ; \alpha=65^\circ$			$\varphi=55^\circ; \alpha=80^\circ$			$\varphi=75^\circ; \alpha=115^\circ$					
	Физм, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	Физм, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$	Физм, град	$\Delta'_{абс}$	$\Delta'_{отн}$	$\Delta'_{прив}$
0												
15												
30												
...												
105												
120												

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 абсолютной погрешности.
2. Дать определение относительной погрешности.
3. Дать определение приведенной погрешности.
4. Назвать признаки, по которым классифицируются погрешности.
5. Дать определения случайных и систематических погрешностей.
6. Дать определение прогрессирующей погрешности.
7. Что понимают под грубой погрешностью?
8. Дать определение инструментальной погрешности.

9. Дать определение методической погрешности.
10. Дать определение основной и дополнительной погрешностям.
11. Дать определение статической и динамической погрешностям.
12. Как определяются наибольшие и наименьшие значения погрешностей по диапазонам распределения.
13. Как исключают аддитивную погрешность из результатов серии измерений?
14. Как распределяются погрешности по диапазону зенитного угла при фиксированных визирном угле и азимуте?
15. Как распределяются погрешности по диапазону визирного угла при фиксированных зенитном угле и азимуте?

3.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. «Исследование и оценка случайных погрешностей преобразователя зенитного угла телеметрической навигационной системы»

Цель

- исследование метрологических характеристик телеметрической навигационной системы 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 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 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:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_i}{n};$$

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:

$$\Delta_{\text{абс}} = \theta_{\text{изм}} - \theta_{\text{зад}};$$

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

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'';$$

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:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta_i' - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta_i'' - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}}.$$

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:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_i}{n};$$

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 каждых измеренных значений зенитного угла:

$$\Delta_{\text{абс}} = \theta_{\text{изм}} - \theta_{\text{зад}};$$

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

$$\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'',$$

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:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta'_i - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta''_i - \bar{\Delta}'')^2}{2n - 1}}.$$

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									
$\bar{\Delta}'$									
$\bar{\Delta}''$									
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 измерения заданного зенитного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;
- 4.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений зенитного угла телесистемы:

$$M(\theta) = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_i}{n};$$

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:

$$\Delta_{\text{абс}} = \theta_{\text{изм}} - \theta_{\text{зад}};$$

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

$$\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'';$$

4.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

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

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

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta_i' - \overline{\Delta'})^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta_i'' - \overline{\Delta''})^2}{2n - 1}}.$$

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.

3.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. «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 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:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=0}^n \varphi_i}{n};$$

- 2.5. вычислить дисперсию измеренных значений визирного угла телесистемы:

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

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

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

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

$$\Delta_{\text{абс}} = \varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{зад}}$$

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

$$\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'',$$

2.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

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

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

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta_i' - \overline{\Delta'})^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta_i'' - \overline{\Delta''})^2}{2n - 1}}.$$

2.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\alpha=25^\circ$, $\theta=15^\circ$), град		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 $0^\circ, 40^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 160^\circ, 200^\circ, 240^\circ, 280^\circ$. В каждой точке производится восемь измерения заданного зенитного угла, подходя к нему со стороны меньших и больших значений;

3.4. вычислить математическое ожидание измеренных значений визирного угла телесистемы:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=0}^n \varphi_i}{n};$$

3.5. вычислить дисперсию измеренных значений визирного угла телесистемы:

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

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

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

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

$$\Delta_{\text{абс}} = \varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{зад}};$$

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

$$\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'',$$

3.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

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

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

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta_i' - \overline{\Delta'})^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta_i'' - \overline{\Delta''})^2}{2n - 1}}.$$

3.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\alpha=125^\circ$, $\theta=75^\circ$), град		0	20	40	60	80	100	120	140
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									
$\sigma(\Delta)$									

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° , 20° , 40° , 60° , 80° , 100° , 120° , 140° . 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:

$$M(\varphi) = \frac{\sum_{i=0}^n \varphi_i}{n};$$

4.5. вычислить дисперсию измеренных значений визирного угла телесистемы:

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

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

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

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

$$\Delta_{\text{абс}} = \varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{зад}};$$

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

$$\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i', \overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta_i'',$$

4.9. вычислить систематическую составляющую погрешности:

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

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

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\Delta_i' - \overline{\Delta'})^2 + \sum_{i=0}^n (\Delta_i'' - \overline{\Delta''})^2}{2n - 1}}.$$

4.11. полученные данные занести в таблицу:

φ (при $\alpha=255^\circ$, $\theta=5^\circ$), град		0	20	40	60	80	100	120	140
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.

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. – Москва : Логос, 2009. – 560 с.: ил.
2. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / Я.М. Радкевич и др. – 2-е изд. – Саратов : Вузовское образование, 2019.
3. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
4. ГОСТ 16263-70. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения.
5. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» – Рекомендации по межгосударственной стандартизации.
6. Галикеев И.А., Злобин Н.А., Стыценко Е.В., Чикуров Г.А. Забойная телеметрическая система с гидравлическим каналом связи «ГНОМ_М» // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции посвящённой 85-летию доктора технических наук, профессора, академика РАЕН В.И. Кудинова – Ижевск. ФГБОУ ВО УдГУ, ИниГ им. М.С. Гуцериева 2016. – С. 293–298.
7. Галикеев И.А., Иванова Т.Н., Рябов П.П. Анализ забойного телеметрического оборудования на современном этапе развития бурения скважин // Сборник: Булатовские чтения, материалы II Международной научно-практической конференции 2018.С. 72-75.
8. Мурадян О.С., Галикеев И.А. Опыт выплавки высокоазотистых немагнитных коррозионностойких сталей.//Черные металлы 2013. №5(977) с.10-13.
9. Пат.2006575 С1 27.02.1994. Способ исследования горизонтальных скважин / Чесноков В.А., Рапин В.А., Галикеев И.А. и др.
10. Пат.2097442 С1 27.11.1997. Коррозионностойкая аустенитная сталь / И.А. Галикеев и др.
11. Пат.2097441 С1 27.11.1997. Аустенитная сталь/ И.А. Галикеев и др.
12. Пат.2180364 С1, 10.03.2002. Аустенитная сталь / И.А. Галикеев, О.С. Мурадян, В.Ф. Ощепков.
13. Пат.2379504 С1. 20.01.2010. Устройство передачи информации вдоль ствола скважины / И.А. Галикеев и др.
14. Пат.2613396. 16.03.2017. Пульсатор забойный для создания положительных импульсов давления в промывочной жидкости/ И.А. Галикеев и др.
15. А.С. SU1712577A1, 15.02.1992. Бурильная труба для электробурения/ Дороднов И.П., Кагарманов Н.Ф., Богданов А.С., Абдурахманов М.Т., Галикеев И.А.
16. Хабибуллин И.Т., Галикеев И.А. Проектирование профилей скважин пространственного типа.//Тр./ Башнипинефть. - Вып.86. – Уфа, 1992. – С.49–54
17. Пат.2157445 С2. 27.10.2000 Способ проводки наклонно-направленных скважин/ И.А. Галикеев; Патентообладатель Галикеев Ильгизар Абузарович.
18. Шайхутдинов Р.Т., Галикеев И.А. Опыт строительства горизонтальных скважин на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» // Сборник докладов международного семинара-совещания АО «Удмуртнефть». – М, 2017.

Учебное издание

**Миловзоров Алексей Георгиевич
Галикеев Ильгизар Абузарович
Дё Александр Дмитриевич
Дорофеев Николай Петрович**

**КОНТРОЛЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

Авторская редакция
Компьютерный набор и верстка А.Г. Миловзоров

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021
Тел. : + 7 (3412) 916-364, E-mail: editorial@udsu.ru