

*Специальность 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения»*

*Методическое обеспечение дисциплины*

*Б1.В.01 «Оптические измерения»*



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**Методическое обеспечение дисциплины**

**ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

---

**Смоленск – 2021 г.**

Специальность 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения»

Методическое обеспечение дисциплины

Б1.В.01 «Оптические измерения»



**Методические материалы составил:**

к.т.н., доцент

подпись

М. В. Беляков

ФИО

« 24 » июня 2021 г.

**Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:**

подпись

Якименко Игорь Владимирович

ФИО

«02» июля 2021 г.

*Специальность 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения»*

*Методическое обеспечение дисциплины*

*Б1.В.01 «Оптические измерения»*



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**Лабораторный практикум  
по дисциплине**

**ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

---

**Смоленск – 2021 г.**

## 1. Цели лабораторного практикума

Лабораторный практикум по дисциплине «Оптические измерения» служит для практического подкрепления лекционного материала и привития навыков оценки соответствия функционирования оптических и оптико-электронных измерительных приборов и систем.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в лаб. А-107 «Прикладная оптика и оптические измерения» учебно-лабораторного корпуса филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске.

Цель студента при работе в лаборатории по дисциплине «Оптические измерения» – отработка навыков работы с измерительными микроскопами, сферометрами, гониометрами и катетометрами.

## 2. Теоретическое введение и состав лабораторного оборудования

**Цель работы:** Изучение принципов построения оптических визуальных измерительных приборов, приобретение навыков градуировки и применения подобных приборов, обработки и оформления результатов измерений.

**Описание установки:** Лабораторная установка собрана на основе двухканального стереоскопического микроскопа МБС-2, оптическая схема которого представлена на рисунке 1.

Для освещения предметного столика 4 применяется осветитель, состоящий из источника света 1, конденсора 2 и плоского зеркала 3.

В качестве объектива в микроскопе применена оптическая система, состоящая из компонента 5 с фокусным расстоянием  $f_1' = 80$  мм и тубусных линз 8 с фокусным расстоянием  $f_2' = 160$  мм, которые строят изображение объекта в фокальных плоскостях окуляров 10.

Для изменения увеличения объектива применяют две пары телескопических систем Галилея 6 и 7, попеременное включение которых в ход лучей дает четыре варианта увеличения. Призмы Шмидта 9 с крышей, выполняют функции оборачивания изображения, отклонения осей пучков на  $45^\circ$  и регулировки межзрачкового расстояния от 56 до 72 мм. К микроскопу прилагаются два измерительных окуляра.

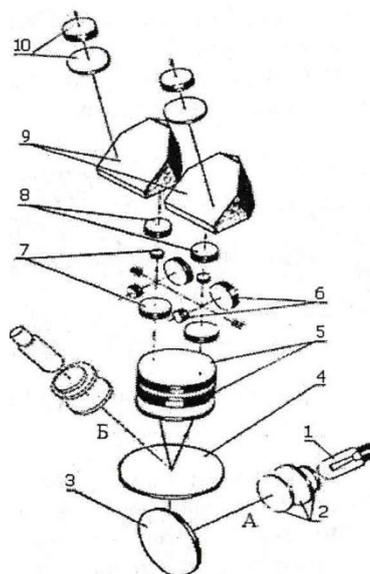


Рисунок 1 – Оптическая система микроскопа

**Цель работы:** ознакомиться с принципом измерения радиусов кривизны оптических поверхностей на сферометре ИЗС–7. Приобрести навыки по их измерению и обработки косвенных измерений.

### Описание установки

В настоящей работе радиусы кривизны сферических поверхностей измеряют при помощи кольцевого сферометра ИЗС-7 функциональная схема которого показана на рисунке 1. Основными элементами сферометра является: корпус 3, измерительный стержень с миллиметровой шкалой 5, опорное кольцо с шариками 1 и измерительный (отсчётный) микроскоп 6.

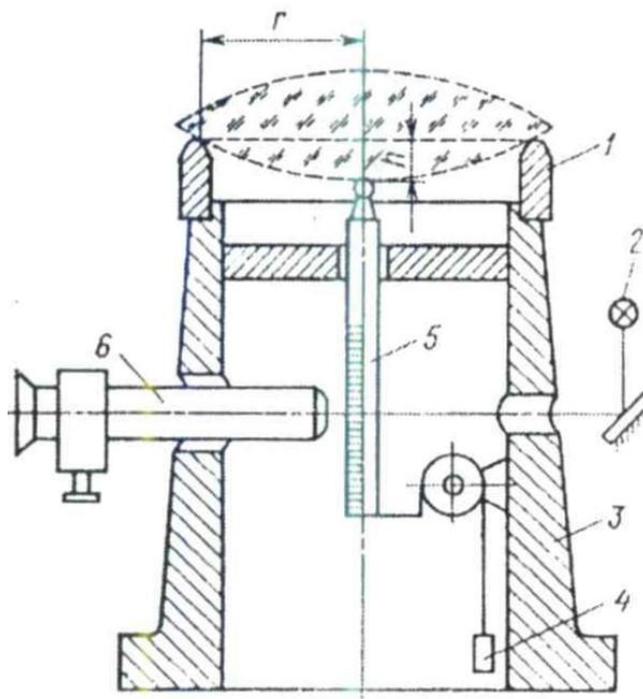


Рисунок 2 – Функциональная схема сферометра ИЗС-7

Оптическая схема отсчётного микроскопа представлена на рисунке 2

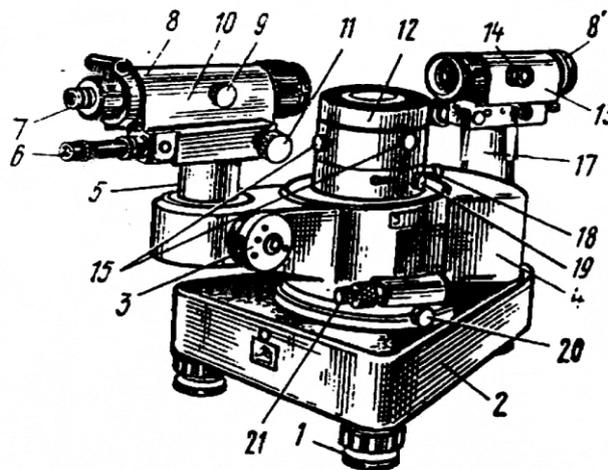
Здесь 1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – конденсор; 4 – миллиметровая шкала с покровным стеклом; 5 – объектив; 6 и 7 – призмы; 8 – защитное стекло; 9 – круговая шкала; 10 – неподвижная шкала десятых долей миллиметра; 11 – окуляр.

Целью настоящей работы является изучение методов измерения углов призм и клиньев, освоение практических приемов юстировки гониометра и его применение для решения измерительных задач.

### Описание установки

В настоящей работе изучают устройство и приемы юстировки гониометра Г-5, применяемого для измерения угловых величин (углов призм, клиньев и т.п.).

Гониометр Г-5 (рис.1) состоит из массивного основания 2 с тремя подъемными винтами 1, вертикальной колонки 17 с коллиматором 13 и осевого устройства с алидадой 4, на котором расположена колонка 5 со зрительной трубой 10.



Зрительную трубу вместе с алидадой можно вращать вокруг вертикальной оси прибора вручную или микрометрическим винтом 21 (после закрепления алидады винтом 20). С помощью подъемных винтов и круглого уровня, встроенного в корпус алидады, ось вращения прибора приводится в вертикальное положение.

Рисунок 3. Общий вид гониометра

Зрительная труба 10 и коллиматор 13 имеют внутреннюю фокусировку, осуществляемую с помощью трубок 9, и одинаковые объективы с фокусным расстоянием 400,6 мм. Для фиксации положения установок объективов на бесконечность и величины расфокусировок, появляющихся из-за кривизны поверхностей контролируемых деталей, трубы снабжены фокусирующими отсчетными шкалами 14. Визирные оси зрительной трубы и коллиматора с помощью юстировочных винтов 11 и 11' могут быть установлены перпендикулярно вертикальной оси (и параллельно предметному столику, соответственно).

Заменяя окулярные устройства, коллиматор можно превратить в зрительную трубу, а зрительную трубу - в коллиматор. Смена (и закрепление) окулярных устройств производится зажимными кольцами 8 и 8'.

На верхней части вертикальной оси установлен предметный столик 12, свободно вращающийся вручную, а после закрепления зажимным винтом 19 он может вращаться вместе с лимбом при неподвижной зрительной трубе. На вертикальную ось прибора посажен стеклянный лимб с ценой деления 10' и оцифровкой через градус от 0 до 359°. При включении или выключении специального механизма, помещенного на корпусе алидады, лимб может вращаться вместе с алидадой, самостоятельно при неподвижной алидаде и вместе со столиком.

Самостоятельное вращение лимба относительно алидады и столика осуществляется трибкой, а вместе со столиком - вручную и микрометрическим винтом 18. Столик может вращаться с лимбом при неподвижной зрительной трубе, совместно с лимбом и зрительной трубой и самостоятельно после отключения зажимного винта. С помощью двух регулировочных винтов 15 столик может быть наклонен и приведен в горизонтальное положение.

Для контроля различных по высоте деталей предусмотрено несколько сменных дисков, накладываемых и закрепляемых на столике.

Электрическое питание гониометра и осветителя осуществляется от сети 220В через понижающий трансформатор. Для предотвращения поражения электрическим током металлические части установки заземлены.

Целью настоящей работы является измерение оптического измерительного прибора – *катетометра КМ-6* и приобретение навыков работы с ним.

## 2. Описание установки

Катетометр КМ-6 предназначен для измерения расстояний между двумя вертикальными точками на объекте, расположенном на большом расстоянии. Основные характеристики катетометра приведены в таблице.

Таблица 1. Технические характеристики катетометра

Параметры и характеристики	Значение параметра
Пределы измерения по вертикали	0-200 мм
Предельная погрешность отсчета по масштабной сетке микроскопа	$\pm 0,0015$ мм
Увеличение зрительной трубы с насадочными линзами:	
при расстоянии до объекта 150 мм	51 <sup>x</sup>
при расстоянии до объекта 380 мм	20,5 <sup>x</sup>
при расстоянии до объекта 625 мм	12 <sup>x</sup>
при расстоянии до объекта 969 мм	8 <sup>x</sup>

Погрешность измерения на приборе: при расстоянии до объекта 150 мм при расстоянии до объекта 150 мм при расстоянии до объекта 150 мм при расстоянии до объекта 150 мм	$\pm 0,006$ мм $\pm 0,010$ мм $\pm 0,014$ мм $\pm 0,021$ мм
Увеличение отсчетного микроскопа	$62,5^x$

К основным конструктивным узлам катетометра (рис. 1) относятся основание (треножник) 16, установленная на нем колонка 17 и подвижная каретка 22.

При помощи винтов 21 и круглого уровня, расположенных на основании, колонку можно устанавливать в вертикальное положение. Колонку также можно поворачивать вокруг вертикальной оси при помощи ручек 18 (грубо) и микрометрического винта 19 (плавно). В колонку вмонтирована стеклянная миллиметровая шкала, ось которой параллельна оси колонки.

Грубое перемещение каретки по вертикали производится от руки, точное - при помощи микрометрического винта 26. На каретке закреплены зрительная труба 23 и отсчетный микроскоп 24. Установка зрительной трубы в горизонтальное положение осуществляется при помощи микрометрического винта 31 и цилиндрического уровня 30. Фокусировка трубы на выбранную точку объекта производится при помощи маховичка 29.

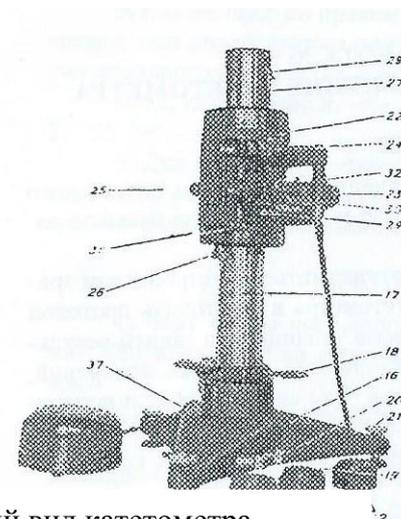


Рис. 4. Общий вид катетометра

Оптическая схема прибора (рис. 2) состоит из зрительной трубы (компоненты 1 - 6), отсчетного микроскопа (компоненты 7 - 11) и осветительной системы (компоненты 12 - 15). Последняя предназначена для подсветки шкалы 11. Сменные насадочные линзы применяют при измерениях на малых расстояниях (в интервалах 140-150, 340-380, 500-625 и 730-969 мм от объектива зрительной трубы).

Для коррекции аметропии глаза окуляры зрительной трубы и микроскопа имеют диоптрийную наводку в пределах  $\pm 5$  диоптрий.

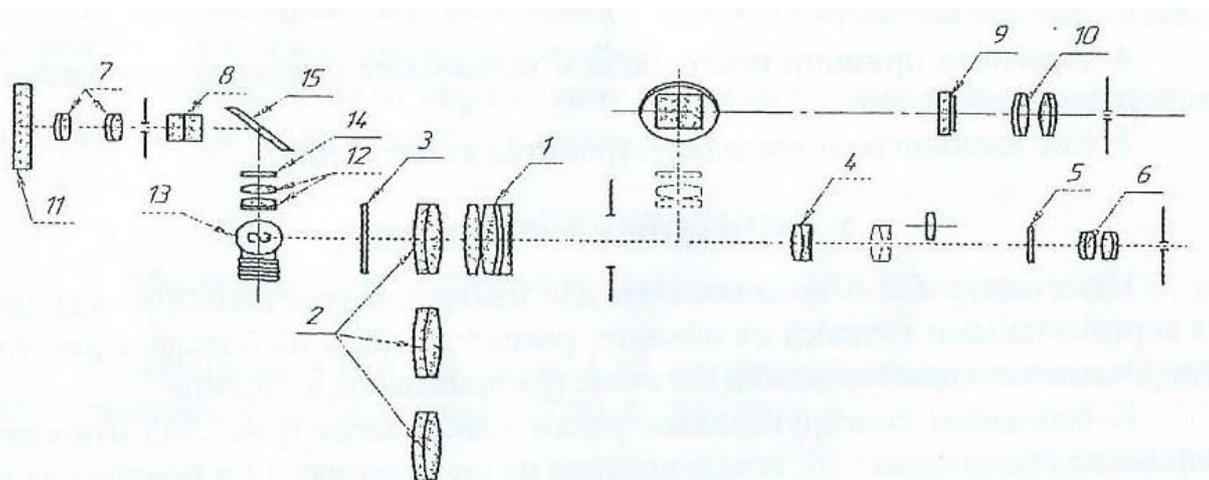


Рис. 5. Оптическая схема катетометра:

1 - объектив зрительной трубы, 2 - сменные насадочные линзы, 3 - светофильтр, 4 - фокусирующая линза, 5 - сетка, 6 - окуляр, 7 - микрообъектив отсчетного микроскопа, 8 - призма-куб, 9 - масштабная сетка, 10 - окуляр, 11 - шкала, 12 - конденсор, 13 - источник света, 14 - светофильтр, 15 - зеркало

### 3. Перечень лабораторных работ и методические рекомендации по выполнению рабочего задания

Лабораторный практикум включает 4 лабораторные работы (по 4 часа).

№ 1. Градуировка и применение измерительного микроскопа

№ 2. Измерение углов призм и клиньев на гониометре

№ 3. Измерение радиусов кривизны оптических поверхностей на сферометре

№ 4. Измерение фокусных расстояний и разрешающей способности оптических компонентов

### 3. Контрольные вопросы

#### Лабораторная работа № 1.

1. Сформулировать определение и привести примеры систематических и случайных погрешностей, возможных при градуировке микроскопа и измерениях.
2. Как и почему изменяется цена деления шкалы микроскопа при изменении коэффициента линейного увеличения объектива  $\beta_{об}$ ?
3. Зависит ли цена деления шкалы микроскопа от видимого увеличения окуляра?
4. Изменяется ли цена деления шкалы микроскопа для разных точек поля зрения? Если да, то какие факторы влияют на эту зависимость?
5. Какие измерительные операции называют продольной и поперечной наводками?
6. Что понимают под явлением параллакса в ОИП? Как обнаружить параллакс?
7. В какой форме представляют результаты измерений?
8. Как измерить линейное поле микроскопа?

#### Лабораторная работа № 2.

1. Какие основные узлы содержит гониометр?
2. Какие компоненты содержит оптическая система коллиматора и зрительной трубы гониометра?
3. Как фокусируют зрительную трубу и коллиматор?
4. Как устроено отсчетное устройство гониометра, как считывают показание угла по лимбу?
5. Как реализуют коллимационный и автоколлимационный методы измерения углов призм?
6. Почему рекомендуется измерять углы на разных участках лимба?
7. Нарисовать оптическую схему зрительной трубы гониометра и ход апертурного луча.
8. К каким методам относятся измерения углов на гониометре?
9. Сформулировать определения и привести примеры случайных и систематических погрешностей при измерении углов призм.

#### Лабораторная работа № 3.

1. Пояснить структуру и назначение оптических компонентов оптической системы отсчетного микроскопа.
2. Сформулировать последовательность операций при считывании показания по отсчетному устройству.
3. Почему не совпадают результаты измерений радиуса кривизны одной и той же поверхности с разными кольцами?
4. Почему рекомендуется измерять радиус кривизны поверхности с кольцом максимально возможного диаметра?
5. По каким признакам и, на какие группы принято классифицировать измерения?
6. К какому методу относятся измерения радиусов кривизны на сферометре?

#### Лабораторная работа № 4.

1. Какую оптическую систему называют линзой? объективом? компонентом?
2. Что понимают под "эквивалентной схемой" и "кардинальными элементами" ОС?
3. Какую часть пространства называют параксиальной областью?
4. Как, и почему смещается фокальная плоскость компонента при измерениях с синим, зеленым и красным светофильтрами?
5. Что понимают под разрешающей способностью компонента, в каких единицах ее оценивают?
6. Зависят ли результаты измерений разрешающей способности компонента от индивидуальных особенностей наблюдателя?
7. Влияет ли уровень освещенности тест – объекта на результаты измерений фокусного расстояния и разрешающей способности компонента?
8. Из каких соображений выбирают объектив и окуляр микроскопа при измерениях фокусного расстояния и разрешающей способности компонента?
9. Сформулировать классификационные признаки применяемых методов измерения.
10. Изменяется ли разрешающая способность компонента для разных точек поля? Если да, то почему?
11. Равны ли фокусные расстояния компонента в пространстве предметов и изображений? Если нет, то почему?

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**Методические рекомендации к практическим занятиям  
по дисциплине**

**ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

---

**Смоленск – 2021 г.**

## 1. Цели и задачи, объем практических занятий по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине «Оптические измерения» – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Для достижения поставленной цели на практических занятиях решаются следующие задачи:

- расчёты погрешностей измерений оптических приборов;
- расчёты режимов работы оптических измерительных приборов.

Объем практических занятий - в соответствии с рабочей программой дисциплины «Оптические измерения».

## 2. Задания на практические занятия по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Задания на практические занятия по дисциплине

1. При измерении преломляющего угла призмы  $\theta$  на гониометре получены следующие значения. Найти среднее арифметическое значение измеряемого угла.

$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$
110°56'57''	112°46'21''	110°59'55''	110°22'39''	112°35'13''

2. При измерении линейного размера  $d$  исследуемого объекта с помощью измерительного микроскопа получены следующие значения, мм. Найти

- 1) среднее арифметическое выборки;
- 2) дисперсию;
- 3) стандартное отклонение среднего  $S$ ;
- 4) при заданной надежности  $\alpha$  - случайную погрешность результата  $\Delta d$ .

Записать окончательный результат в стандартном виде.

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$\alpha$
6,04	6,14	6,23	5,96	5,68	5,77	0,9

3. При измерении радиуса кривизны поверхности линзы  $R$  на сферометре получены следующие значения, мм. Найти

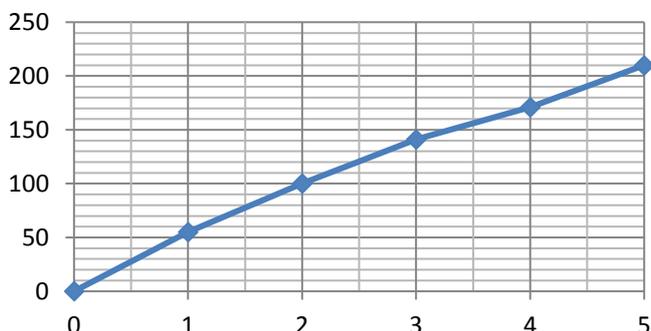
- 1) среднее арифметическое выборки;
- 2) дисперсию  $\sigma^2$ ;
- 3) стандартное отклонение среднего  $S$ ;
- 4) при надежности  $\alpha=0,95$  случайную погрешность результата  $\Delta R$ .

Записать окончательный результат в стандартном виде.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$R_9$	$R_{10}$
1141	2884	1200	987	1131	1103	998	1197	1178	1056

4. Дана градуировочная кривая  $E(n)$  люксметра Ю-116. Определить относительную погрешность измерения освещённости данным люксметром, если при измерениях получены следующие показания:  $n_1=1,5$  дел.,  $n_2=2,5$  дел.,  $n_3=3,0$  дел.,  $n_4=2,5$  дел.,  $n_5=2,0$  дел.  $\alpha=0,8$

$n$ , дел	0	1	2	3	4	5
$E$ , лк	0	55	100	141	171	210



5. Найти разрешающую способность идеального объектива, имеющего фокусное расстояние 220 мм и диафрагменное число 3.
6. Найти наилучшую разрешающую способность микроскопа в видимой области спектра, если при измерении в воздухе максимальный апертурный угол составляет  $6,0^\circ$ .
7. Определить наибольшую разрешающую способность зрительной трубы с фокусным расстоянием объектива 450 мм.
8. Определить точность наведения зрительной трубы увеличением  $30\times$ , если острота зрения глаза при наведении креста на край штриха составляет  $60''$ , а при нониусной наводке –  $10''$ .
9. Какой показатель преломления у стекла призмы с преломляющим углом  $60^\circ$ , если угол наименьшего отклонения  $45^\circ$ ?
10. Определить показатель преломления стекла призмы с преломляющим углом  $20^\circ$ , если угол автоколлимации составляет  $35^\circ$ .
11. Найти радиус кривизны выпуклой поверхности, если радиус кольца 42,4711 мм, радиус шарика – 4,777 мм. При измерениях с исследуемой поверхностью показания сферометра 75,234 мм, а с плоской поверхностью – 80,531 мм.
12. Определить относительную погрешность второго порядка при измерении длины детали, если угол перекося равен  $58'$ .
13. Определить оптическую силу объектива, если при угловых измерениях размера изображения 45 мм угол поворота зрительной трубы составил  $11^\circ$ .
14. Найти видимое увеличение зрительной трубы с фокусным расстоянием объектива и окуляра соответственно 350 мм и 28 мм.
15. Определить радиус кривизны пары пробных стёкол, если при измерении на сферометре выпуклой и вогнутой поверхностей показания прибора 14,859 мм и 17,021 мм. Радиус кольца 56,362 мм.

### 3. Технология проведения практических занятий

Для студенческой группы на занятии выдается задание, общая формулировка которого приведена в разделе 2 настоящих методических указаний.

Алгоритм проведения практических занятий по дисциплине предполагается следующий:

- после выдачи задания в первые 30 мин. занятия студенты анализируют исходные данные, записывают математические выражения (при необходимости) и составляют структурную схему системы электропривода или ее составляющей;

- один из студентов группы вызывается «к доске» и демонстрирует группе вариант решения задания со своими числовыми данными;

- организуется интерактивное обсуждение результатов с разграничением функциональных обязанностей студентов при выполнении задания по моделированию – анализ исходных данных, проработка схемы построения модели, выбор технологии моделирования, расчет параметров регуляторов и контуров регулирования, возможная оптимизация. В итоге, совместными усилиями формируется и корректируется функциональная схема системы электропривода или ее составляющей;

- в последние 30 мин. занятия каждый студент предъявляет преподавателю вариант математической модели, соответствующей разработанным структурной и функциональной схемам.

#### **4. Примерные вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине, по темам практических занятий**

1. Измерения и их погрешности.
2. Свойства оптических измерительных приборов
3. Измерение длины оптических деталей
4. Измерение радиусов кривизны сферических поверхностей
5. Измерение углов призм и клиньев
6. Измерение показателя преломления и дисперсии оптического стекла
7. Измерение фокусных расстояний
8. Измерение параметров оптических приборов