

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»  
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ АСПИРАНТОВ

направление подготовки 09.06.01 Информатика и  
вычислительная техника

профиль подготовки 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления»

# ПРАКТИКУМ

по дисциплине

Датчики технических параметров

Разработал: д.т.н. Юдин А. В.

Рыбинск, 2014 г.

## Практическое занятие №1

### Тема «Анализ номенклатуры линейных оптических датчиков перемещения»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры линейных оптических датчиков перемещения, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Рабочая длина датчика
- Максимально допустимая скорость перемещения слайдера датчика
- Разрешающая способность датчика
- Напряжение питания
- Используемый выходной интерфейс датчика

## Практическое занятие №2

### Тема «Анализ номенклатуры поворотных оптических датчиков перемещения (энкодеров)»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры линейных оптических датчиков угла поворота, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Угол поворота вала датчика
- Максимально допустимая частота вращения вала датчика
- Разрешающая способность датчика
- Напряжение питания
- Используемый выходной интерфейс датчика

## Практическое занятие №3

### Тема «Анализ номенклатуры акселерометров»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры акселерометров, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Чувствительность
- Вес датчика
- Разрешающая способность датчика
- Напряжение питания
- Степень защиты от воздействия окружающей среды

#### Практическое занятие №4

Тема «Анализ номенклатуры датчиков избыточного/вакуумметрического/избыточно-вакуумметрического давления»

##### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры датчиков избыточного/вакуумметрического/избыточно-вакуумметрического давления, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Принцип действия
- Диапазон измеряемого давления
- Виды измеряемого давления (Возможность работы с избыточным и вакуумметрическим давлением)
- Основная приведенная погрешность
- Глубина перестройки (количество диапазонов)
- Выходной сигнал
- Перегрузочная способность

#### Практическое занятие №5

Тема «Анализ номенклатуры волоконно-оптических датчиков»

##### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры волоконно-оптических датчиков, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Измеряемый технический параметр
- Диапазон измеряемых величин
- Разрешение
- Конструктивные особенности (возможность встраивания)

#### Практическое занятие №6

Тема «Анализ ограничений условий эксплуатации ультразвуковых датчиков»

##### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ ограничений условий эксплуатации ультразвуковых датчиков, выпускаемых промышленностью настоящее время.

Проанализируйте зависимость погрешности ультразвуковых датчиков от температуры и влажности окружающей среды. Сформулируйте требования к частоте ультразвуковых колебаний.

## Практическое занятие №7

### Тема «Анализ номенклатуры тензодатчиков»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры тензодатчиков, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Диапазон измерения веса
- Чувствительность
- Напряжение питания
- Конструктивное исполнение
- Диапазон перегрузки по весу
- Схема электрического подключения
- Степень защиты от воздействия окружающей среды

## Практическое занятие №8

### Тема «Расчет погрешности тензодатчиков в зависимости от способа подключения»

#### *Задание на практику*

Тензодатчик с чувствительностью 1,2 мкВ/В запитан от 10 В с помощью 6- проводного кабеля длиной 10 м. Рассчитайте погрешность которая возникнет при использовании такого датчика при включении его по 4-х проводной схеме.

## Практическое занятие №9

### Тема «Анализ номенклатуры термопар»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры термопар, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Диапазон измеряемых температур
- Погрешность измерения
- Нелинейность характеристики преобразования
- Среда эксплуатации

## Практическое занятие №10

### Тема «Расчет погрешности термопар в зависимости от способа подключения»

Термоэлектрический термометр типа S (платинородий-платиновый) подключен к измерительному прибору медными проводами. Температура рабочего конца 700, свободных концов 20 °С. Насколько изменится термо-ЭДС, если температура места подключения медного провода к платинородиевому термоэлектроду увеличилась до 100 °С, а температура места подключения медного провода к платиновому термоэлектроду осталась равной 20 °С. Градуировочная характеристика термоэлектрического термометра типа S приведена в таблице ниже. Термо-ЭДС пары платинородий-медь при температурах спаев 100 и 20 °С  $E(100\text{ °С}, 20\text{ °С}) = -0,077\text{ мВ}$ .

Таблица П.12. Градуировочная характеристика платиновой (10%) – платиновой термомпары, тип S, в диапазоне температур 0–1800 °С (по СТ СЭВ 1059-78)

Температура рабочего конца, °С	Таблорезультативная сила, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033	0,038	0,044	0,049
10	0,055	0,051	0,057	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,101	0,107
20	0,113	0,119	0,125	0,130	0,136	0,142	0,148	0,154	0,161	0,167
30	0,173	0,179	0,185	0,191	0,197	0,203	0,209	0,216	0,222	0,229
40	0,235	0,241	0,247	0,254	0,260	0,266	0,273	0,279	0,286	0,292
50	0,299	0,305	0,312	0,318	0,325	0,331	0,338	0,344	0,351	0,358
60	0,364	0,371	0,378	0,384	0,391	0,398	0,405	0,412	0,418	0,425
70	0,432	0,439	0,446	0,453	0,460	0,467	0,474	0,481	0,488	0,495
80	0,502	0,509	0,516	0,523	0,530	0,537	0,544	0,551	0,559	0,566
90	0,573	0,580	0,587	0,595	0,602	0,609	0,616	0,623	0,631	0,638
100	0,645	0,652	0,660	0,667	0,675	0,682	0,689	0,697	0,704	0,712
110	0,719	0,727	0,734	0,742	0,749	0,757	0,765	0,772	0,780	0,787
120	0,795	0,803	0,810	0,818	0,825	0,833	0,841	0,849	0,856	0,864
130	0,872	0,880	0,887	0,895	0,902	0,910	0,918	0,926	0,934	0,942
140	0,950	0,958	0,966	0,973	0,981	0,989	0,997	1,005	1,013	0,021
150	1,029	1,037	1,045	1,053	1,061	1,069	1,077	1,085	1,093	1,101
160	1,109	1,117	1,125	1,133	1,141	1,149	1,157	1,165	1,174	1,182
170	1,190	1,198	1,206	1,215	1,223	1,231	1,239	1,248	1,256	1,265
180	1,273	1,281	1,289	1,298	1,306	1,314	1,322	1,331	1,339	1,348
190	1,356	1,364	1,373	1,381	1,390	1,398	1,406	1,415	1,423	1,432
200	1,440	1,448	1,457	1,465	1,474	1,482	1,491	1,499	1,508	1,516
210	1,525	1,534	1,542	1,551	1,559	1,568	1,577	1,585	1,594	1,602
220	1,611	1,620	1,628	1,637	1,645	1,654	1,663	1,672	1,680	1,689
230	1,698	1,707	1,715	1,724	1,732	1,741	1,750	1,759	1,767	1,776
240	1,785	1,794	1,803	1,811	1,820	1,829	1,838	1,847	1,855	1,864
250	1,873	1,882	1,891	1,899	1,908	1,917	1,926	1,935	1,944	1,953
260	1,962	1,971	1,980	1,988	1,997	2,006	2,015	2,024	2,033	2,042
270	2,051	2,060	2,069	2,078	2,087	2,096	2,105	2,114	2,123	2,132
280	2,141	2,150	2,159	2,168	2,177	2,186	2,195	2,204	2,214	2,223
290	2,232	2,241	2,250	2,259	2,268	2,277	2,286	2,295	2,305	2,314
300	2,323	2,332	2,341	2,350	2,359	2,368	2,377	2,386	2,396	2,405
310	2,414	2,423	2,432	2,442	2,451	2,460	2,469	2,478	2,488	2,497
320	2,506	2,515	2,525	2,534	2,544	2,553	2,562	2,571	2,581	2,590
330	2,599	2,608	2,618	2,627	2,637	2,646	2,655	2,664	2,674	2,683
340	2,692	2,701	2,711	2,720	2,730	2,739	2,748	2,758	2,767	2,777
350	2,786	2,795	2,805	2,814	2,824	2,833	2,842	2,852	2,861	2,871
360	2,880	2,889	2,899	2,908	2,918	2,927	2,936	2,946	2,955	2,965
370	2,974	2,984	2,993	3,003	3,012	3,022	3,031	3,041	3,050	3,060
380	3,069	3,079	3,088	3,098	3,107	3,117	3,126	3,136	3,145	3,155
390	3,164	3,174	3,183	3,193	3,202	3,212	3,222	3,231	3,241	3,250
400	3,260	3,270	3,279	3,289	3,298	3,308	3,318	3,327	3,337	3,346
410	3,356	3,366	3,375	3,385	3,394	3,404	3,414	3,423	3,433	3,442
420	3,452	3,462	3,471	3,481	3,490	3,500	3,510	3,520	3,529	3,539
430	3,549	3,559	3,568	3,578	3,587	3,597	3,607	3,616	3,626	3,635
440	3,645	3,655	3,665	3,674	3,684	3,694	3,704	3,714	3,723	3,733
450	3,743	3,753	3,762	3,772	3,781	3,791	3,801	3,811	3,820	3,830
460	3,840	3,850	3,860	3,869	3,879	3,889	3,899	3,909	3,918	3,928
470	3,938	3,948	3,958	3,967	3,977	3,987	3,997	4,007	4,016	4,026
480	4,036	4,046	4,056	4,065	4,075	4,085	4,095	4,105	4,115	4,125
490	4,135	4,145	4,155	4,164	4,174	4,184	4,194	4,204	4,214	4,224
500	4,234	4,244	4,254	4,263	4,273	4,283	4,293	4,303	4,313	4,323
510	4,333	4,343	4,353	4,362	4,372	4,382	4,392	4,402	4,412	4,422
520	4,432	4,442	4,452	4,462	4,472	4,482	4,492	4,502	4,512	4,522
530	4,532	4,542	4,552	4,562	4,572	4,582	4,592	4,602	4,612	4,622
540	4,632	4,642	4,652	4,662	4,672	4,682	4,692	4,702	4,712	4,722
550	4,732	4,742	4,752	4,762	4,772	4,782	4,792	4,802	4,812	4,822
560	4,832	4,842	4,852	4,863	4,873	4,883	4,893	4,903	4,913	4,923
570	4,933	4,943	4,953	4,964	4,974	4,984	4,994	5,004	5,014	5,024

## Практическое занятие №11

### Тема «Расчет уровня электромагнитных помех на термомпару»

Предположим, что рядом с сигнальным проводом проходит некоторый провод, по которому протекает ток амплитудой  $I_N$  (рис. 11). Тогда вследствие эффекта электромагнитной индукции на сигнальном проводе будет наводиться напряжение помехи  $V_m$ . В случае синусоидальной формы тока амплитуда напряжения помехи, наводимого на сигнальном проводе, будет равна

$$V_m = \frac{\omega \cdot M \cdot (R_i + R_m)}{\sqrt{(R_i + R_m)^2 + \omega^2 L^2}} \cdot I_N \quad (6)$$

Здесь  $M$  - взаимная индуктивность между проводами;  $L$  - индуктивность сигнального провода;  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  - частота тока помехи;  $R_i$  - выходное сопротивление источника сигнала;  $R_{in}$  - входное сопротивление приемника.

Величина взаимной индуктивности пропорциональна площади витка, который пересекается магнитным полем, созданным током  $I_N$ . "Витком" в данном случае является контур, по которому протекает ток, вызванный э.д.с. помехи.

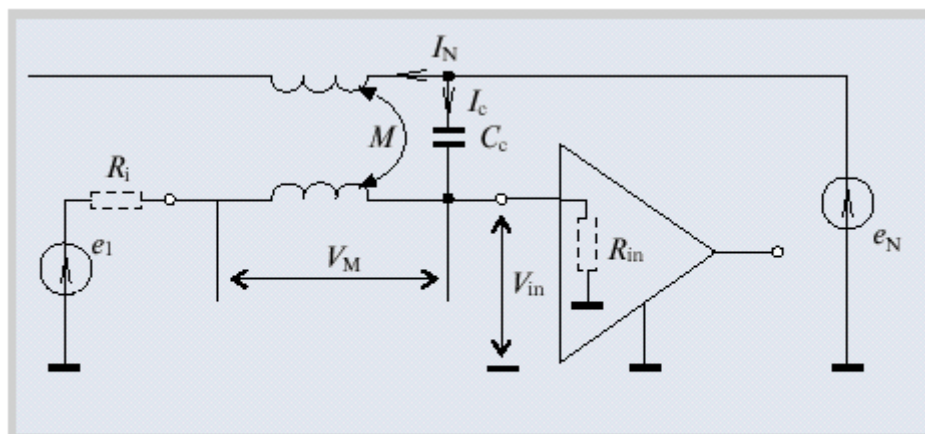


Рис. 11. Пути прохождения ёмкостной и индуктивной помехи от источника  $e_N$

На рис. 11 этот контур образован сигнальным проводом, входным сопротивлением приемника, проводом "земли" и выходным сопротивлением источника сигнала. Для уменьшения взаимной индуктивности площадь данного контура должна быть минимальной, то есть сигнальный провод должен быть проложен максимально близко к "земле". Эффективную площадь "витка" можно уменьшить, если расположить его в плоскости, перпендикулярной плоскости контура с током, наводящим помехи.

Из формулы (6) следует, что индуктивная наводка увеличивается с ростом частоты и отсутствует на постоянном токе. Напряжение помехи на рис. 11 включено последовательно с источником сигнала, то есть вносит аддитивную погрешность в результат измерения. При бесконечно большом сопротивлении  $R_{in}$  напряжение на входе приемника имеет вид:

$$V_{in} = e_1 + \omega \cdot M \cdot I_N$$

и не зависит от сопротивления источника сигнала.

Ёмкостная наводка через паразитную ёмкость между проводниками  $C_c$ , наоборот, полностью определяется величиной внутреннего сопротивления источника сигнала  $R_i$ , поскольку оно входит в делитель напряжения помехи, состоящий из сопротивления  $R_i$ , включенного параллельно  $R_{in}$ , и ёмкости  $C_c$ :

$$V_{in} = e_1 + \frac{\omega \cdot (R_i \parallel R_{in}) \cdot C_c}{\sqrt{1 + (\omega \cdot (R_i \parallel R_{in}) \cdot C_c)^2}} \cdot e_N \quad (7)$$

Как следует из (7), при  $R_i = 0$  ёмкостная помеха полностью отсутствует. В действительности сигнальный проводник имеет некоторое индуктивное и резистивное сопротивление, падение напряжения помехи на котором не позволяет полностью устранить ёмкостную наводку с помощью источника с низким внутренним сопротивлением. Особенно важно учитывать индуктивность сигнального провода в случае высокочастотных помех.

Порядок величин сопротивлений типовых источников сигнала приведен в табл. 1. Рассчитайте уровень наведенных помех для этих параметров.

Таблица 1. Типовые датчики и порядок величин их сопротивлений

Источник сигнала	Полное сопротивление
Термопара	< 20 Ом
Терморезистор	> 1 кОм
Резистивный датчик сопротивления	< 1 кОм
Полупроводниковый датчик давления	> 1 кОм
Тензодатчик	< 1 кОм
Стеклянный pH-электрод	> 10 <sup>9</sup> Ом
Потенциометрический датчик перемещения	от 500 Ом до 100 кОм
Операционный усилитель	10 <sup>-4</sup> Ом

## Практическое занятие №12

### Тема «Анализ номенклатуры термосопротивлений»

#### Задание на практику

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры термосопротивлений, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Диапазон измеряемых температур
- Погрешность измерения
- Нелинейность характеристики преобразования
- Среда эксплуатации

### Практическое занятие №13

Тема «Расчет погрешности термосопротивлений в зависимости от способа подключения»

#### *Задание на практику*

Термосопротивление с номиналом 100 Ом подключено с помощью 3- проводного медного кабеля длиной 10 м и сечением 0.25 мм<sup>2</sup>. Рассчитайте погрешность, которая возникнет при использовании такого датчика при включении его по 2-х проводной схеме.

### Практическое занятие №14

Тема «Анализ номенклатуры термоиндикаторов»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры термоиндикаторов, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Кратность применения
- Сфера применения
- Наличие и количество средств индикации
- Наличие интерфейса программирования
- Наличие средств персонификации

### Практическое занятие №15

Тема «Анализ номенклатуры датчиков Холла»

#### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите анализ номенклатуры датчиков Холла, выпускаемых промышленностью настоящее время. Проведите сравнение по следующим параметрам:

- Тип выходного сигнала
- Тип чувствительного элемента
- Наличие встроенного магнита
- Тип чувствительности к полю
- Индукция вкл, Гаусс
- Максимальная чувствительность, мВ/Гаусс
- Макс рабочая частота, кГц
- Мин напряжение питания, В
- Макс напряжение питания, В
- Макс выходной ток, мА
- Температурный диапазон, гр. С
- Корпус

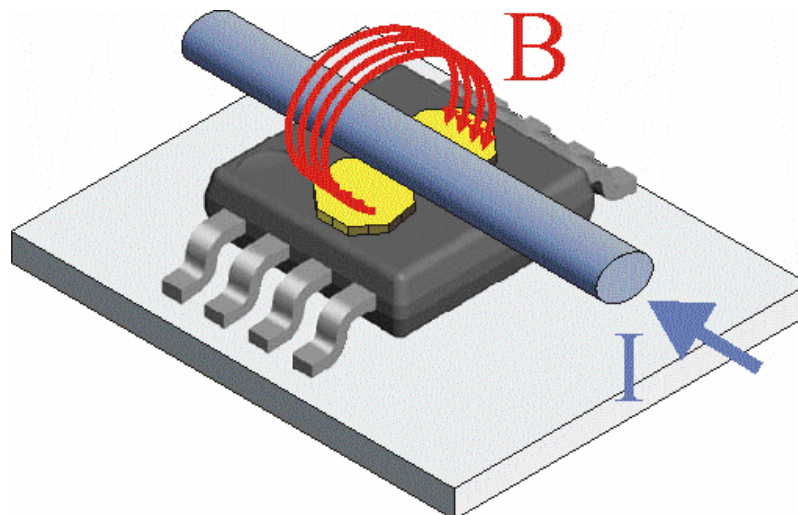


## Практическое занятие №16

Тема «Расчет погрешности датчиков Холла в зависимости от способа установки на токонесущую шину»

### Задание на практику

Токонесущий проводник проходит над поверхностью датчика на расстоянии 2 мм как показано на рисунке



Определите погрешность линейности характеристики датчика если ток через проводник составляет 20 А, а чувствительность датчика 25 мВ/А.

## Практическое занятие №17

Тема «Описание метрологических характеристик оптической линейки как средства измерения»

### Задание на практику

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите описание метрологических характеристик оптической линейки типа ЛИР-14, ЛИР-15, ЛИР-17 или ЛИР-19А. Проведите описание по следующим разделам:

- Знак утверждения типа
- Комплектность средств измерения
- Поверка
- Сведения о методиках(методах) измерения
- Нормативные документы, устанавливающие требования к преобразователям линейных перемещений
- Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений
- Изготовитель
- Испытательный центр

## Практическое занятие №18

Тема «Описание метрологических характеристик тензодатчика как средства измерения»

### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите описание метрологических характеристик тензорезисторного датчика Н4 (ЗАО «Весоизмерительная компания «Тензо-М»).

Проведите описание по следующим разделам:

- Знак утверждения типа
- Комплектность средств измерения
- Поверка
- Сведения о методиках(методах) измерения
- Нормативные документы, устанавливающие требования к преобразователям линейных перемещений
- Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений
- Изготовитель
- Испытательный центр

## Практическое занятие №19

Тема «Анализ точности описания градуировочной характеристики термопары ХА полиномом 9 степени»

Аппроксимируйте статическую характеристики термопары ХК представленную в табличном виде полиномом 9-ой степени. Для этого следует:

1. Загрузить и исполнить файл-сценарий `txk.m`. Он содержит табулированную функцию зависимости ЕДС термопары от температуры.
2. С помощью средств `cftool` подобрать коэффициенты полинома 9-ой степени описывающего зависимость температуры от ЕДС термопары, записать оценки качества по различным критериям.
3. Экспортировать подогнанную модель в рабочее пространство Matlab и выделить значения коэффициентов полинома:  
$$P = \text{confint}(\text{fittedmodel1}, 0.95); p = \text{mean}(P).$$
4. Рассчитать (`polyval`) по найденным значениям коэффициентов полином и сравнить с табулированными значениями, построить функцию ошибки.
5. Исключением из данных диапазона отрицательных температур добиться ошибки менее 0.1 градуса, построить функцию ошибки, записать оценки качества по различным критериям.

## Практическое занятие №20

Тема «Описание метрологических характеристик термопары как средства измерения»

### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите описание метрологических характеристик термоэлектрических преобразователей ТП-1388 (ООО НПП «ЭЛЕМЕР»).

Проведите описание по следующим разделам:

- Знак утверждения типа
- Комплектность средств измерения
- Поверка
- Сведения о методиках(методах) измерения
- Нормативные документы, устанавливающие требования к преобразователям линейных перемещений
- Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений
- Изготовитель
- Испытательный центр

## Практическое занятие №21

Тема «Нормирование основной погрешности оптической линейки»

### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите нормирование основной погрешности оптической линейки типа ЛИР-14, ЛИР-15, ЛИР-17 или ЛИР-19А.

Обычно нормирующее значение принимают равным:

1. большему из пределов измерений, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерения;
2. сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерения;
3. длине шкалы или её части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна (например, у омметра);
4. номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено (например, у частотомера с номинальным значением 50 Гц);
5. модулю разности пределов измерений, если принята шкала с условным нулём (например, для температуры), и т.д.

Обоснуйте выбор нормирующего значения из предложенного списка для оптической линейки. Проанализируйте связь класса точности оптической линейки с пределом допускаемого значения погрешности перемещений.

## Практическое занятие №22

Тема «Нормирование основной погрешности термопары»

### *Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите нормирование основной погрешности термоэлектрических преобразователей ТП-1388 (ООО НПП «ЭЛЕМЕР»).

Обычно нормирующее значение принимают равным:

1. большему из пределов измерений, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерения;

2. сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерения;
3. длине шкалы или её части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна (например, у омметра);
4. номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено (например, у частотомера с номинальным значением 50 Гц);
5. модулю разности пределов измерений, если принята шкала с условным нулём (например, для температуры), и т.д.

Обоснуйте выбор нормирующего значения из предложенного списка. Проанализируйте связь класса точности термоэлектрических преобразователей ТП-1388 (ООО НПП «ЭЛЕМЕР») с пределом допускаемого значения погрешности измерения температуры.

### Практическое занятие №23

Тема «Нормирование основной погрешности тензодатчика»

*Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите нормирование основной погрешности тензорезисторного датчика Н4 (ЗАО «Весоизмерительная компания «Тензо-М»).

Обычно нормирующее значение принимают равным:

1. большему из пределов измерений, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерения;
2. сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерения;
3. длине шкалы или её части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна (например, у омметра);
4. номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено (например, у частотомера с номинальным значением 50 Гц);
5. модулю разности пределов измерений, если принята шкала с условным нулём (например, для температуры), и т.д.

Обоснуйте выбор нормирующего значения из предложенного списка. Проанализируйте связь класса точности тензорезисторного датчика Н4 (ЗАО «Весоизмерительная компания «Тензо-М») с пределом допускаемого значения погрешности измерения веса.

### Практическое занятие №24

Тема «Нормирование дополнительной погрешности тензодатчика»

*Задание на практику*

Используя поисковые ресурсы в сети Internet проведите нормирование дополнительной погрешности тензорезисторного датчика Н4 (ЗАО «Весоизмерительная компания «Тензо-М»). Выпишите и проанализируйте факторы, определяющие дополнительную погрешность.