

## Лабораторная работа № 4

### Тарирование приборов, измеряющих силовые характеристики.

Цель работы: научиться производить метрологическую операцию тарирования (градуировки измерительных устройств) динамометров, измеряющих усилие в (Н) и динамометрических ключей, измеряющих момент пары сил (Н·м).

#### 1. Основные положения

Тарирование (градуировка) – это метрологическая операция, в результате которой делениям шкалы измерительного прибора, устройства или инструмента присваиваются соответствующие значения измеряемой величины в принятых единицах измерения с требуемой точностью этого соответствия.

Одним из способов измерения усилий, возникающих при эксплуатации технологической оснастки, является измерение с помощью динамометров различных конструкций. А для измерения моментов кручения применяют динамометрические ключи. В этих приборах используются упругие элементы, которые при воздействии внешних сил создают уравнивающие их силы упругости. По закону Гука сила упругости пропорциональна вектору деформации (удлинения или сжатия) и противоположна ему по направлению:

$$F_y = -K \cdot \Delta L \quad (1)$$

где

$F_y$	-сила упругости	(Н);
$\Delta L$	-вектор деформации	(м);
$K$	-жесткость упругого элемента	(Н/м);

Так как внешняя сила уравнивается силой упругости, то  $F_y = F_v$  и вектор деформации связан с внешней силой выражением:

$$\Delta L = \frac{F_v}{K} \quad (2)$$

где

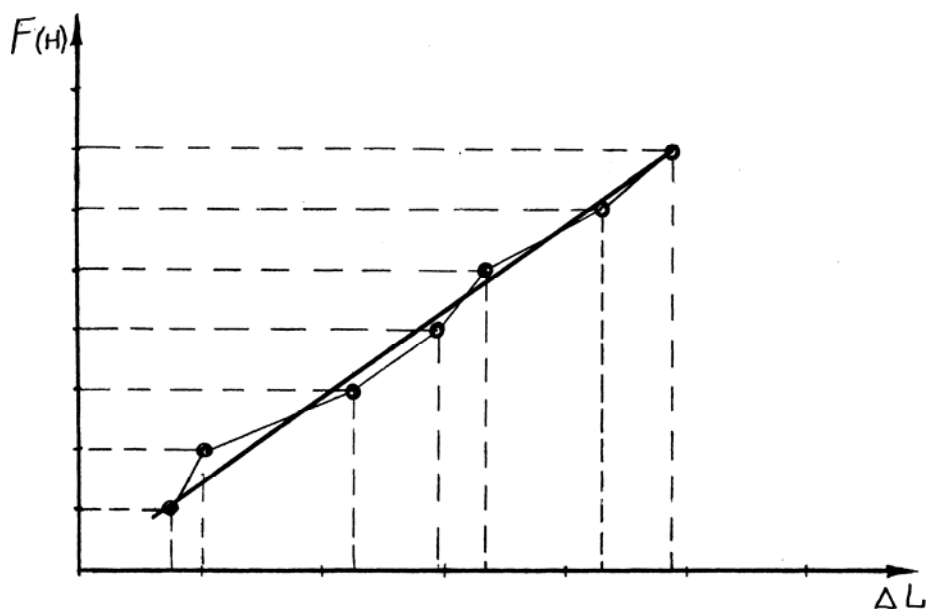
$F_v$  -вектор внешней силы, действующей на упругий элемент прибора.

Выражение (2) справедливо для упругих деформаций, когда напряжение упругого элемента находится в пределах пропорциональности. Пределом пропорциональности называется напряжение, при котором закон Гука (1) нарушается.

При тарировании приборов, служащих для измерения усилий и моментов, следует по закону Гука поставить каждой единице измерения деформации соответствующее изменение силы или момента. Тогда шкала измерения деформаций упругого элемента прибора превратится в шкалу регистрации действующего усилия или момента. Например, если при

регистрации деформаций индикатором часового типа с ценой деления 0,01мм было отмечено, что деформация 0,03 мм появлялась при усилии 150 Н, а деформация 0,08 мм при усилии 400 Н, то это значит, что показаниями индикатора можно регистрировать усилия с ценой деления 50 Н.

В практических измерениях линейная зависимость усилий от деформаций в законе Гука может быть нарушена некоторыми причинами, например, наличием зазоров, снижающих жесткость измерительной системы в начале деформирования; случайными отклонениями; силовых характеристик; погрешностями измерения деформаций. Чтобы исключить названные причины при тарировании следует правильно выбирать интервалы измеряемых усилий каждого динамометра и стремиться к максимально возможной точности регистрации измеряемых величин. Регистрацию производят в таблицах 1 или на координатной плоскости (OF; O $\Delta L$ ). В последнем случае, соединяя точки, можно построить тарировочный график прибора и увидеть зависимость  $F=f(\Delta L)$ .



Эту зависимость следует привести к линейному виду, как и для закона Гука. Такое приведение можно выполнить в результате аппроксимации табличных данных тарирования линейной зависимостью методом наименьших квадратов (МНК). В результате применения МНК к данным тарирования для каждого прибора может быть получена формула вида

$$F = b_0 + b_1 \cdot \Delta L \quad (6),$$

где

$$b_0 = \frac{\sum F_i \cdot \Delta L_i \cdot \sum \Delta L_i - \sum F_i \cdot \sum \Delta L_i^2}{(\sum \Delta L_i)^2 - n \sum \Delta L_i^2} \quad (7),$$

$$b_1 = \frac{n \sum F_i \cdot \Delta L_i - \sum \Delta L_i \cdot \sum F_i}{n \cdot \sum \Delta L_i^2 - (\sum \Delta L_i)^2} \quad (8),$$

$b_0$  - свободный член формулы (6) учитывающий нарушения закона Гука, вызванные случайными факторами;

$b_1$  - линейный коэффициент зависимости (6) или цена деления шкалы индикатора;

$\sum F_i \cdot \Delta L_i$  - сумма произведений усилия на деформацию во всех измерениях;

$\sum F_i$  - сумма усилий во всех измерениях;

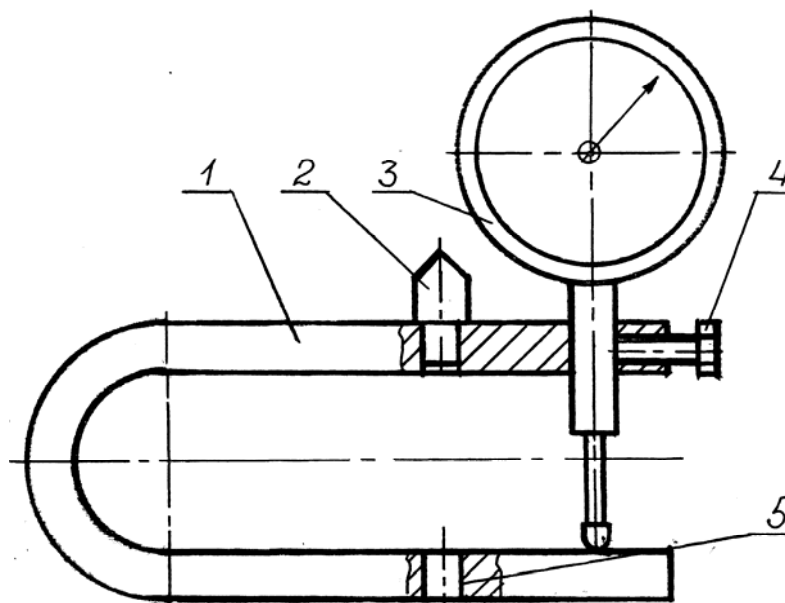
$\sum \Delta L_i$  - сумма деформаций во всех измерениях;

$\sum \Delta L_i^2$  - сумма квадратов деформаций;

$n$  - общее число измерений при тарировании.

## II. Методические указания

Для выполнения лабораторной работы необходимы: набор динамометров камертонного типа; пружинные динамометры; регулируемый динамометрический ключ; установка для создания регулируемого усилия.



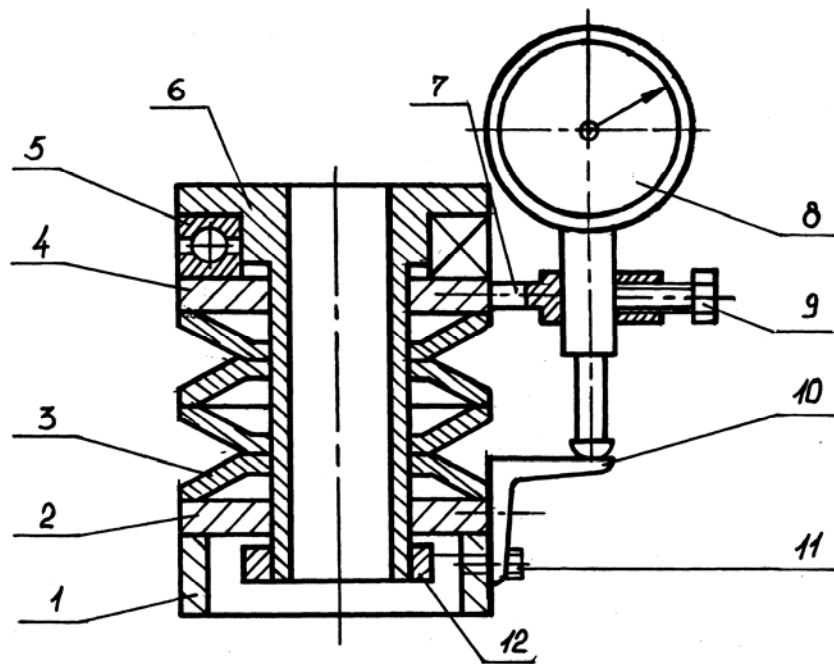
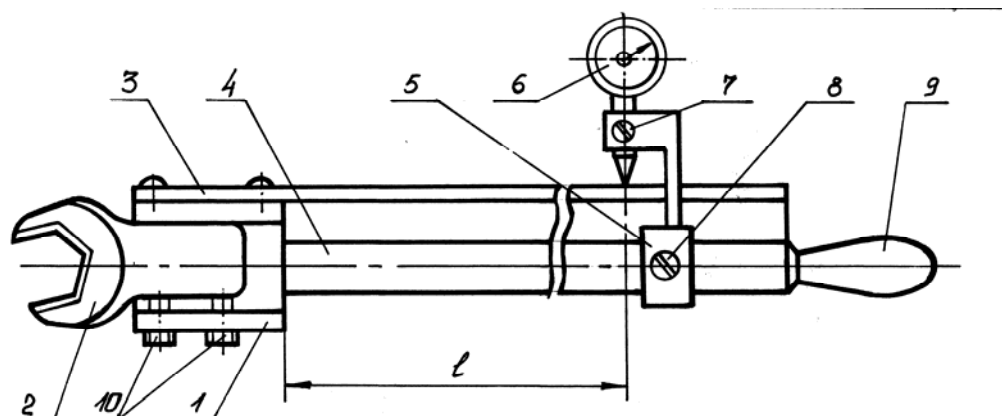
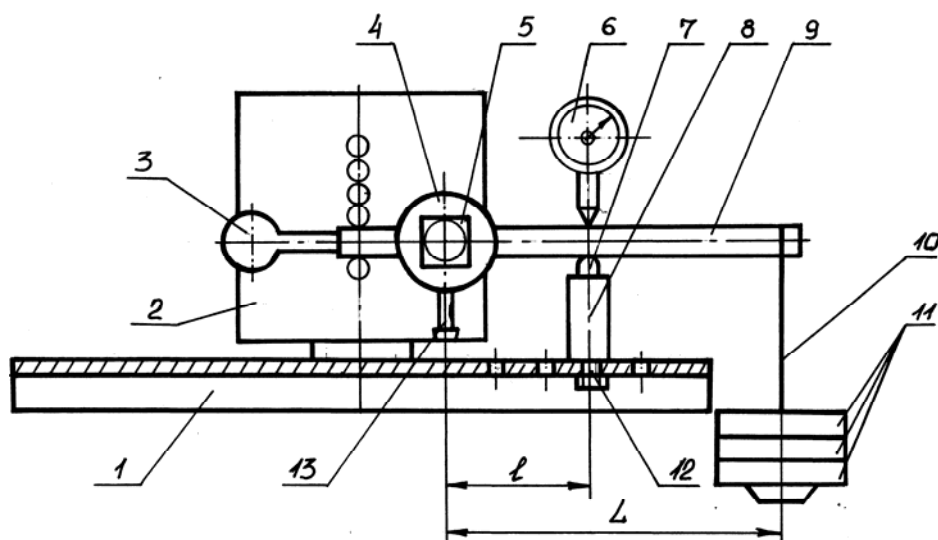


Рис.3. Пружинный динамометр (

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| 1 - основание;           | 7 - кронштейн верхний; |
| 2 - фланец нижний;       | 8 - индикатор;         |
| 3 - пружина тарельчатая; | 9 - винт стопорный;    |
| 4 - фланец верхний;      | 10 - кронштейн нижний; |
| 5 - подшипник опорный;   | 11 - крепежные винты;  |
| 6 - втулка;              | 12 - гайка.)           |





Создание переменного внешнего усилия  $F_v$  на установке, изображенной на рис.5, обеспечивается как размещением разного числа грузов 11 на подвеске 10, так и различным соотношением длин  $L$  и  $l$ .

Перед тарированием динамометра или динамометрического ключа система противовес 3 – рычаг 9 – подвеска 10 приводятся в равновесие. Для этого подбирается такое положение противовеса 3 и фиксируется стопором 13, которое уравнивает момент создаваемый относительно оси вала 4 весом рычага 9 и подвески 10. После этого устанавливаются на подвеску 10 грузы 11, которые будут создавать момент внешней силы, равный

$$M_v = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot L \quad (3)$$

где

- |                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| $M_v$                | -момент внешней силы (Н·м);    |
| $n$                  | -количество грузов 11;         |
| $m_{11}$             | -масса груза 11(кг);           |
| $g=9,81\text{м/с}^2$ | -ускорение свободного падения; |
| $L=0,5\text{м}$      | -длина рычага 9.               |

При установке динамометра 8 на расстоянии  $l$  от оси вала 4 его сила упругости  $F_y$  через переходник 7 создаст момент, равный

$$F_y \cdot l = M_v. \quad (4)$$

Тогда  $F_y = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot \frac{L}{\ell}$ , а со стороны рычага 9 на диаметр 8 будет действовать равная силе упругости внешняя сила  $F_b$ .

$$F_b = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot \frac{L}{\ell}. \quad (5)$$

Деформация динамометра, вызванная силой  $F_b$ , будет регистрироваться индикатором 6 на рис.5.

Величины деформаций динамометров, нагруженных внешней силой  $F_b$ , определяется индикаторами часового типа (3 на рис. 2 и 8 на рис. 3) с ценой деления 0,01мм. Для измерения крутящего момента динамометрический ключ, изображенный на рис. 4, устанавливается сменным ключом 2 (рис. 4) на квадратную ступень 5 вала 4 (рис. 5). Противодействие внешнему моменту  $M_b$  будет оказываться штангой 4, заканчивающейся рукояткой 9 (рис. 4). Под действием момента  $M_b$  штанга 9 будет изгибаться относительно неподвижного кронштейна 3. Величина изгиба (деформации) регистрируется индикатором 6, который крепится в подвижном кронштейне 5. Перемещение кронштейна 5 по штанге 4 создает возможность изменения длины  $\ell$ , обеспечивающей большую или меньшую жесткость упругой системы инструмента. Наименьшая жесткость при наибольшей длине  $\ell$ .

Величина  $M_b$ , определенная по формуле (3), будет соответствовать деформации, которая фиксируется индикатором 6 (рис. 4) и отмечается на тарировочном графике, у которого ось ординат будет представлять момент  $M_b$  в Н·м.

Результаты тарирования следует представлять сперва в таблице 1, а затем переносить на тарировочный график.

Таблица 1  
Результаты тарирования

Номер измерения	1	2	3	...	n	$\Sigma$
Усилие $F_b$ (Н) (Момент $M_b$ (Н·м))						
Деформация $\Delta L$ (0,01 мм)						
$F \cdot \Delta L$						
$\Delta L^2$						
Расчетное $F_b$ (Расчетный $M_b$ )						

### III. Порядок выполнения работы.

1. Группа студентов (2-3 человека) получает набор динамометров у преподавателя.
2. Получает указания о выборе значения  $\ell$  (см. рис. 5) для каждого динамометра.