

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)**

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Заведующий кафедрой ТМ и ИГ

\_\_\_\_\_ /А.А. Панкратов /

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Методические указания  
к выполнению лабораторных работ по дисциплине**

**Теория механизмов и машин**  
(для всех специальностей и форм обучения)

Разработчик

Прежин С.Д., ст. преподаватель

## **Оглавление**

1. Общие организационно-методические указания.....	3
2. Наименование тем лабораторных работ.....	4
3. Список рекомендуемой литературы .....	5
4. Методические указания к выполнению лабораторных работ.....	6

## **1. Общие организационно-методические указания**

1.1. Лабораторные работы проводятся в соответствии с расписанием занятий в специализированной аудитории, оснащенной оборудованием для проведения работ

1.2. Целями лабораторных работ является: углубление практических навыков по изучаемым вопросам и рассмотрение ряда теоретических и практических вопросов, не изучавшихся на лекционных и практических занятиях.

1.3. Лабораторные работы являются неотъемлемой частью изучения дисциплины, общий объём её изучения в часах определяется с учётом объёма лабораторных работ.

1.4. Важнейшим фактором успешного и эффективного проведения лабораторных работ является своевременная подготовка, особенно проработка теоретического материала по соответствующей теме, а также последующая защита.

1.5. Настоящие методические указания предназначены для руководства в проведении лабораторных работ и составлении отчета.

1.6. В настоящих указаниях представлены темы, изучаемые студентами в процессе аудиторных занятий, а также некоторые дополнительные вопросы для более глубокого изучения дисциплины.

1.7. Дополнительные методические указания и разъяснения по конкретным вопросам могут быть получены непосредственно у преподавателя в часы индивидуальных вечерних консультаций.

## 2. Наименование тем и содержание лабораторных работ

1. Основные понятия. Машина, механизм, звено, кинематическая пара, кинематическая цепь. Классификация кинематических пар.
2. Структурный анализ и синтез механизмов. Избыточные связи.
3. Основные виды механизмов. Рычажные, кулачковые, фрикционные, зубчатые, механизмы с гибкой связью.
4. Кинематический анализ механизмов. Передаточное отношение. Аналог скорости. Аналог ускорения. Методы кинематического анализа.
5. Трение в механизмах. Динамика винтовой пары.
6. Синтез плоских рычажных механизмов по положениям звеньев.
7. Уравновешивание механизмов. Виды неуравновешенности. Частичное и полное уравновешивание.
8. Синтез зацеплений. Основная теорема зацепления. Плоское зацепление. Теорема Виллиса.
9. Основы теории эвольвентного зацепления.
10. Синтез кулачковых механизмов.
11. Динамический анализ машинных агрегатов. Приведение сил и масс в механизмах. Динамическая модель машинного агрегата. Уравнение движения агрегата. Фазы движения машинного агрегата.
12. Колебания в механизмах. Вибрация. Методы защиты от вибрации. Виброзащитные устройства.

### 3. Список рекомендуемой литературы

1. Теория механизмов и машин: учеб.-метод. пособие / В. П. Чмиль. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2016. - 279 с.
2. Сборник задач по теории механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / И. И. Артоболевский, Б. В. Эдельштейн. - Изд. 3-е, стер. - Москва: Альянс, 2013, 2014. - 255 с.
3. Теория механизмов и механика машин: учебник для втузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов [и др.] ; под ред. К. В. Фролова. - 4-е изд., испр. - Москва: Высш. шк., 2003. - 496 с.
4. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов/ К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. - 496 с.
5. Прыгунов А.И. Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению курсовой работы и контрольные задания для студентов инженерных специальностей. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2003 г.
6. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: учеб. пособие для вузов / С. А. Попов, Г. А. Тимофеев; под ред. К. В. Фролова. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высш. шк., 2002. - 411 с.
7. Левитская, О.Н. Курс теории механизмов и машин / О.Н. Левитская, И.И. Левитский - М.: Высш.шк., 1978. - 269 с.
8. Ходяков И.В. Прикладная механика в лабораторных работах: Учебное пособие. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2002.



Определение числа степеней свободы механизмов:

1)

2)

3)

4)

5)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА  
ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА И АНАЛИЗ  
КИНЕМАТИКИ ТОЛКАТЕЛЯ

Цель работы:

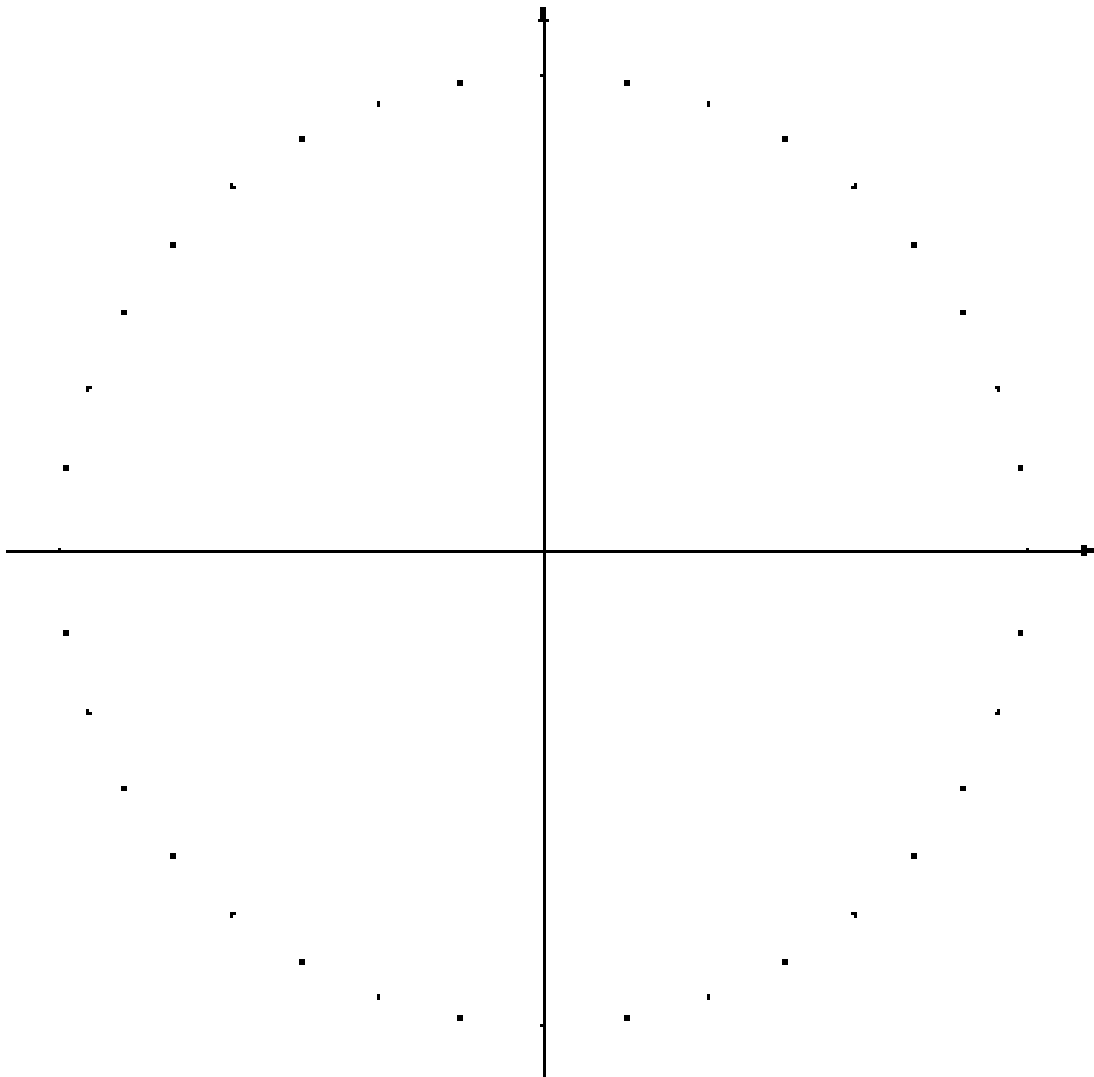
1. Экспериментальное исследование кинематики толкателя кулачкового механизма.
2. Определение кинематических характеристик движения толкателя.
3. Ознакомление с законами движения толкателей кулачковых механизмов ДВС.

Данные для работы:

Минимальный радиус кулачка  $R_0 =$         мм

Скорость вращения кулачка  $n =$         об/мин

Профиль исследуемого кулачка

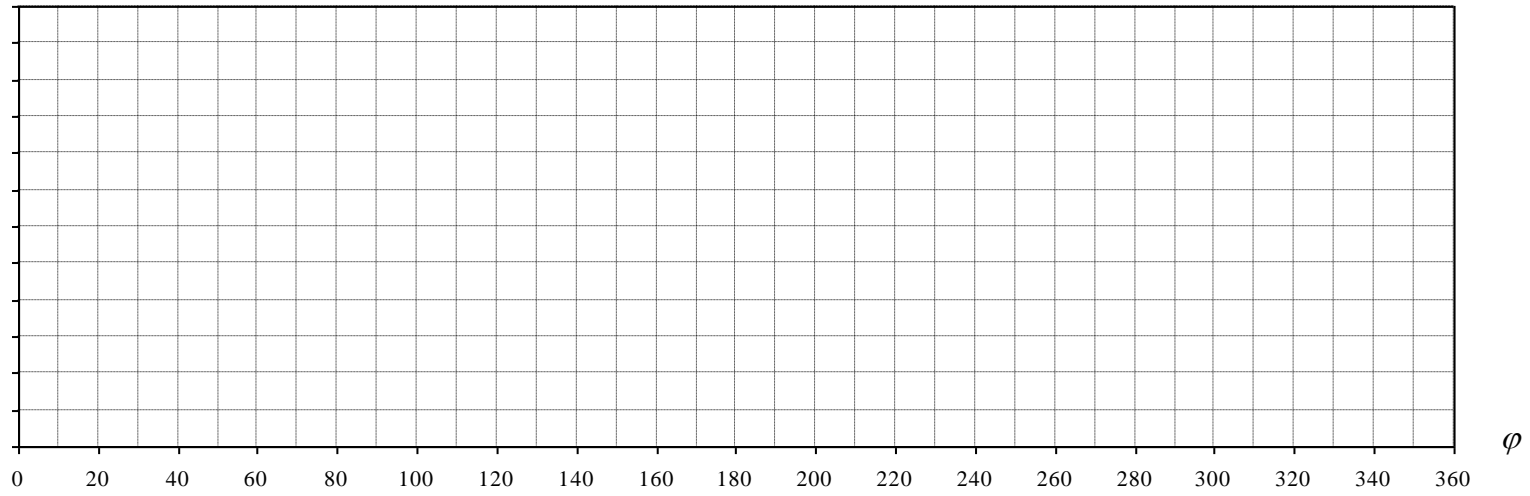






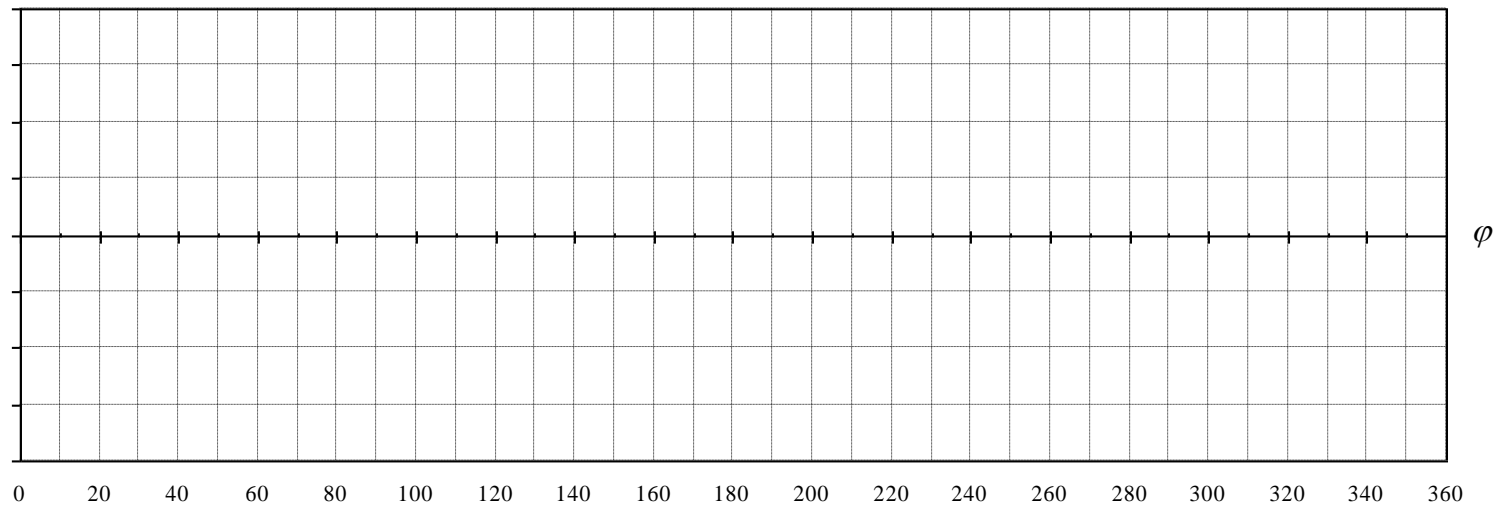
S

Зависимость хода толкателя от угла поворота кулачка



S'

Зависимость аналога скорости толкателя от угла поворота кулачка



Определение максимальной скорости толкателя при числе оборотов  
кулачка  $n =$  \_\_\_\_\_ об/мин:

Выводы:

"\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.          Работу выполнил \_\_\_\_\_

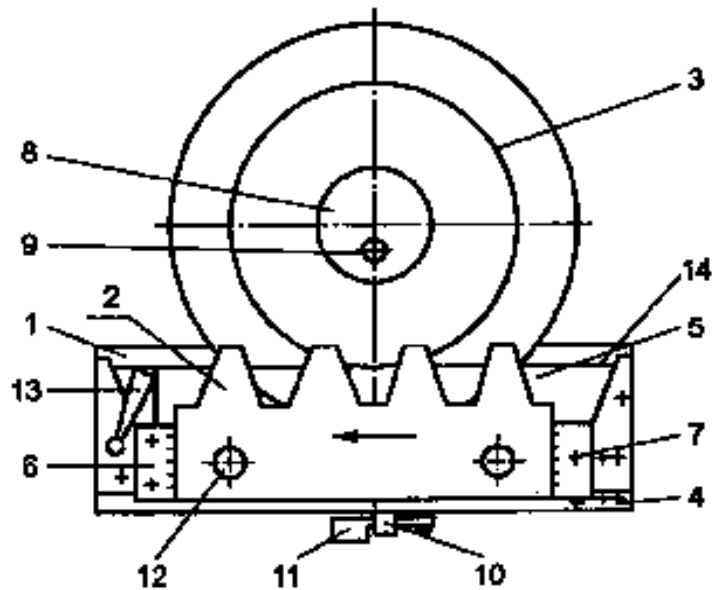
Отчет принял \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### НАРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ МЕТОДОМ ОБКАТКИ

Цель работы:

1. Построение эвольвентного профиля зуба при нарезании методом огибания.
2. Исследовать влияние корригирования на профиль зуба.
3. Расчёт основных геометрических параметров зубчатого колеса.



1 – основание, 2 – рейка, 3 – диск, 4 – направляющие, 5 – планка, 6,7 – шкала,  
8 – шайба, 9 – винт, 10 – рычаг собачки, 11 – педаль привода, 12 – винты,  
13 – рычаг, 14 – струна.

Исходные данные:

Модуль зубьев	$m =$
Угол зацепления	$\alpha =$
Инволюта угла зацепления	$\text{inv}\alpha =$
Коэффициент высоты головки зуба	$h_a^* =$
Коэффициент радиального зазора	$C^* =$
Число зубьев шестерни	$z_1 =$
Делительный диаметр шестерни	$d_1 =$

Число зубьев шестерни:

$$z_1 = d_1 / m =$$

Диаметр заготовки (диаметр окружности выступов шестерни):

Без корригирования:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m =$$

с корригированием:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m + 2X_1 =$$

где:

$X_1$  – принятое смещение инструментальной рейки — положительное.

$$X_1 = mx_1^* =$$

$x_1^*$  — принятый коэффициент смещения — положительный. По абсолютному значению должен быть не менее минимального коэффициента смещения.

$$x_{1\min}^* = 1 - \frac{z_1}{17} =$$

$$x_1^* =$$

Шаг зацепления:

$$p = m\pi =$$

Диаметр основной окружности шестерни:

$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha =$$

Диаметр окружности впадин шестерни:

Без корригирования:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5h_a^* m =$$

с корригированием:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5h_a^* m + 2X_1 =$$

### Результаты опыта

Параметры шестерни, мм	Без корригирования	С корригированием
Диаметр основной окружности		
Диаметр делительной окружности		
Диаметр окружности выступов		
Диаметр окружности впадин		
Высота зуба		
Шаг зацепления по делительной окружности		
Толщина зуба по делительной окружности		
Ширина впадин по делительной окружности		

Выводы:

#### Значения эвольвентной функции $inv\alpha$

<u>Угол град</u>	<u><math>inv\alpha</math></u>	<u>угол град</u>	<u><math>inv\alpha</math></u>	<u>угол град</u>	<u><math>inv\alpha</math></u>
15	0,0061488	20	0,014904	25	0,029975
16	0,007493	21	0,017345	26	0,033947
17	0,009025	22	0,020054	27	0,038287
18	0,010760	23	0,023844	28	0,043107
19	0,012715	24	0,026350	29	0,048164

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

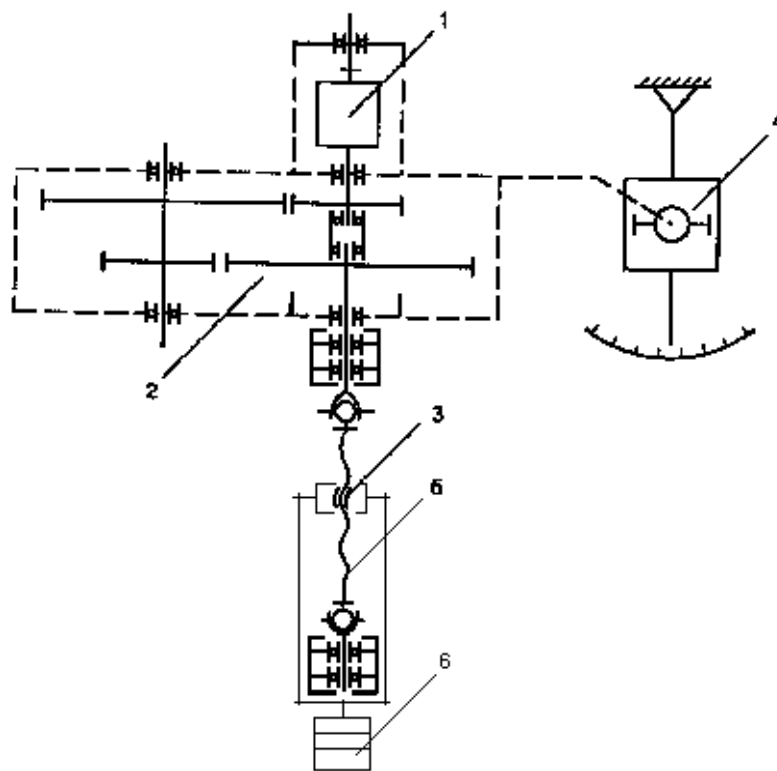
Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчёт принял \_\_\_\_\_

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЬБЫ НА КПД ВИНТОВОЙ  
КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ

Цель работы: исследовать влияния геометрии резьбы и осевой нагрузки на КПД винтовой кинематической пары.

Схема установки:



1 – электродвигатель. 2 – редуктор. 3 – гайка ползуна. 4 – торсиометр. 5 – винт.  
6 – груз.

## Данные винтов

		Геометрия резьбы	
		метрическая	прямоугольная
Диаметр винта номинальный .....	$d$ (мм)	42,0	42,0
Диаметр резьбы внутренний.....	$d_1$ (мм)	37,0	36,0
Шаг резьбы.....	$p$ (мм)	4,5	8,0
Диаметр резьбы средний.....	$d_2$ (мм)	39,1	39,0
Число заходов .....	$z$	1	3
Ход резьбы .....	$S$ (мм)	.....	.....
Угол подъёма резьбы .....	$\beta$ (град)	.....	.....
Угол профиля резьбы .....	$\alpha$ (град)	.....	.....
Скорость вращения винта .....	$n$ (об/мин)	60	60
Материал винта.....		сталь 45	сталь 45
Материал гайки.....		сталь 20	сталь 20

Цена деления шкалы торсиометра —  $a = 0,07 \text{ Н}\cdot\text{м}$

## Результаты опытов

резьба — метрическая, 1 заход.

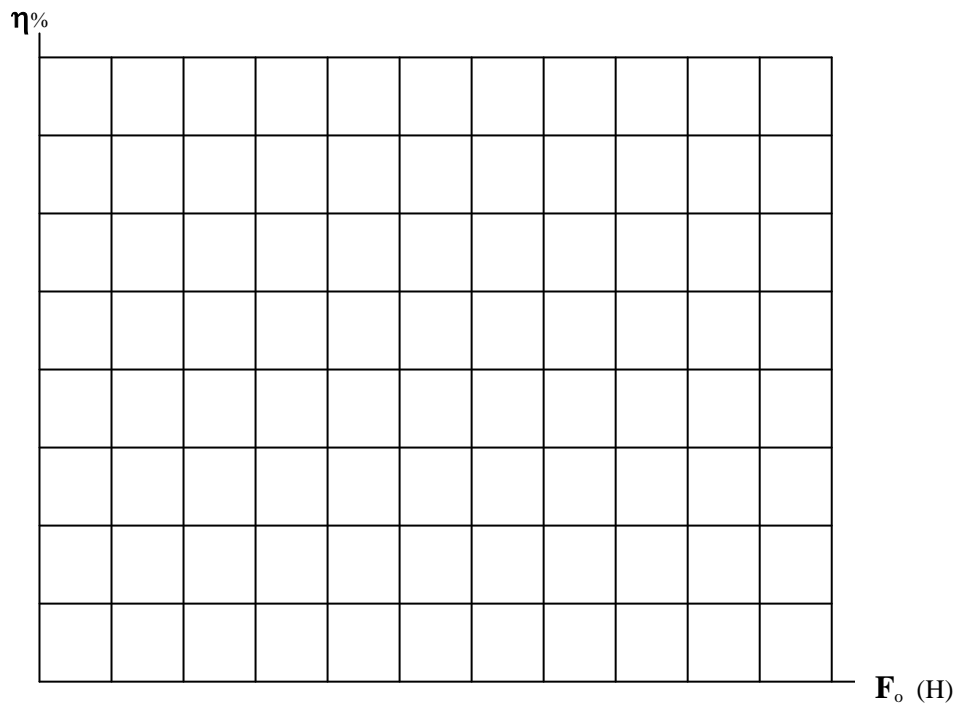
Вес грузов	$F_0$ (Н)	30	50	80	100
Показания торсиометра	$C_{\text{дел}}$				
Момент в резьбе	$T_p$ (Н·м)				
КПД	$\eta$				
Угол подъёма резьбы	$\beta$				
Приведённый угол трения	$\rho'$				
Приведённый коэффициент трения	$f'$				

резьба — прямоугольная, 3 захода

Вес грузов	$F_0$ (Н)	30	50	80	100
Показания торсиометра	$C_{\text{дел}}$				
Момент в резьбе	$T_p$ (Н·м)				
КПД	$\eta$				
Угол подъёма резьбы	$\beta$				
Угол трения	$\rho$				
Коэффициент трения	$f$				



КПД резьб (метрической и прямоугольной) в зависимости от осевой силы:



Выводы:

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией редуктора и назначением его отдельных деталей.
2. Определить основные геометрические и кинематические характеристики редуктора.

Структурная схема редуктора

Эскиз опорных узлов

Основные геометрические и кинематические характеристики редуктора.

Параметр		Ступень		
		I	II	III
Межосевое расстояние - по замеру, мм	$a_{изм}$			
Число зубьев шестерни	$z_1$			
Число зубьев колеса	$z_2$			
Ширина венца шестерни, мм	$b_1$			
Ширина венца колеса, мм	$b_2$			
Модуль зацепления - по замеру, мм	$m_{изм}$			
Модуль зацепления стандартный, мм	$m$			
Межосевое расстояние - точно, мм	$a$			
Диаметр делительной окружности, мм	Шестерни $d_1$			
	Колеса $d_2$			
Диаметр окружности выступов, мм	Шестерни $d_{a1}$			
	Колеса $d_{a2}$			
Диаметр окружности впадин, мм	Шестерни $d_{f1}$			
	Колеса $d_{f2}$			
Шаг зацепления, мм	$p$			
Передаточное число ступени	$u$			
Передаточное число редуктора	$u_{ред}$			
КПД редуктора, %	$\eta$			

Вал	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Угловая скорость, $c^{-1}$	Вращающий момент, Н·м
1				
2				
3				
4				

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### КОНСТРУКЦИИ И МАРКИРОВКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с конструкциями и маркировкой подшипников качения.

#### Основные характеристики подшипников

Параметр подшипника	Обозначение	Изучаемые подшипники		
Маркировка				
Тип подшипника				
Серия	по диаметру			
	по ширине			
Внутренний диаметр, мм	d			
Наружный диаметр, мм	D			
Ширина подшипника, мм	B/C <sub>K</sub> /T			
Число тел качения	z			
Материал сепаратора				
Статическая грузоподъёмность, кН	C <sub>0</sub>			
Динамическая грузоподъёмность, кН	C			

## Эскизы подшипников и их описание

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ МАШИНЫ РОТОРНОГО ТИПА

Цель работы:

1. Ознакомление с методами контроля вибрации машин.
2. Проведение анализа вибрации машины на примере центробежного вентилятора.
3. Ознакомление с критериями оценки вибрации машин.

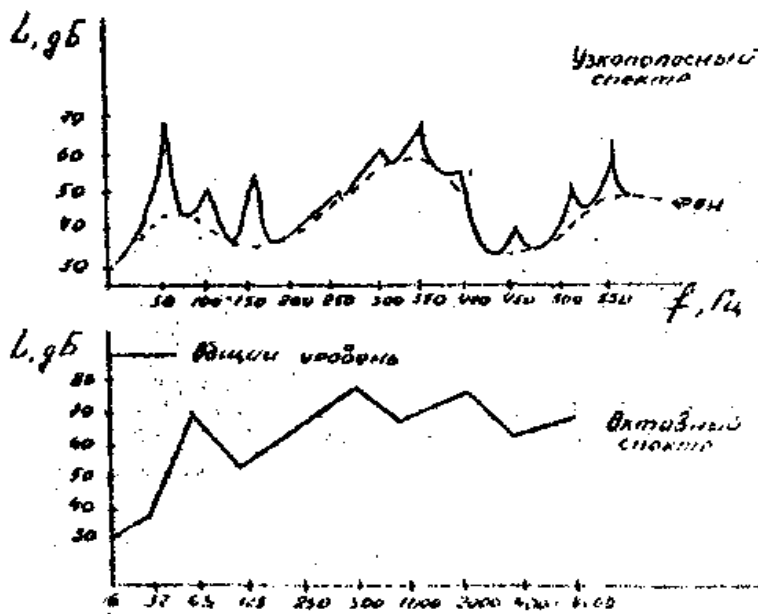


Рис. 17

#### Прибор ИШВ-1

Измеритель шума и вибрации ИШВ-1 является портативным прибором, осуществляющим измерение общих уровней вибрации, шума (сумма вклада всех гармоник) и спектральный анализ вибрации и шума в октавных полосах частот. В настоящее время выпускается микросхемный аналог прибора ИШВ-1 - прибор ВШВ-003, входящий в бортовые диагностические комплекты судов Департамента морского флота.

Первичный преобразователь (датчик) прибора представляет собой пьезоэлектрический акселерометр, генерирующий электрический заряд, на выходе пропорциональный виброускорению поверхности, на которую он установлен. Генерируемый акселерометром сигнал линейно усиливается предварительным усилителем и поступает в виде переменного напряжения на усилительные каскады измерительного прибора. Коэффициент усиления измерительного прибора изменяется ступенями в логарифмическом масштабе. Имеется два переключателя диапазона: входной, расположенный слева на панели, и выходной, расположенный справа. Шаг переключателя соответствует

10 дБ (≈3 раза). Показания снимаются со стрелочного прибора исходя из следующего правила.

Уровень вибрации по виброускорению

$$L_w = (N_1 + N_2 + n), \text{ дБ},$$

где  $N_1$ - показания входного переключателя, дБ;

$N_2$ - показания выходного переключателя, дБ;

$n$  - показания прибора (влево от нуля со знаком "-", вправо от нуля - со знаком "+").

Для измерения общего уровня вибрации переключатель режимов работы должен находиться в положении "лин".

Для измерения уровня вибрации в фильтре переключатель режимов работы должен находиться в положении "фильтр", а переключатель фильтров - в соответствующем избранному для анализа фильтра положению.

Пример. Левый переключатель в положении 30 дБ, правый переключатель в положении 30 дБ, стрелочный прибор показывает 8 делений справа от нуля, переключатель режимов "фильтр", октавный фильтр 63 Гц. Вывод: в октавной полосе 63 Гц среднее квадратичное значение уровня вибрации по ускорению  $30 + 30 + 8 = 68$  дБ.

Примечание. При измерении нестабильных значений уровня вибраций следует стрелочный прибор перевести в положение "медленно".

### Уровень вибрации по ускорению

Узел машины	Средняя частота полосы, Гц	Уровень вибрации, дБ
	16	
	31,5	
	63	
	125	
	250	
	500	
	1000	
	2000	
	4000	
	8000	

Узел машины	Средняя частота полосы, Гц	Уровень вибрации, дБ
	16	
	31,5	
	63	
	125	
	250	
	500	
	1000	
	2000	
	4000	
	8000	

Зависимость уровня частоты (октавного спектра) вибрации машины:

Выводы:

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_