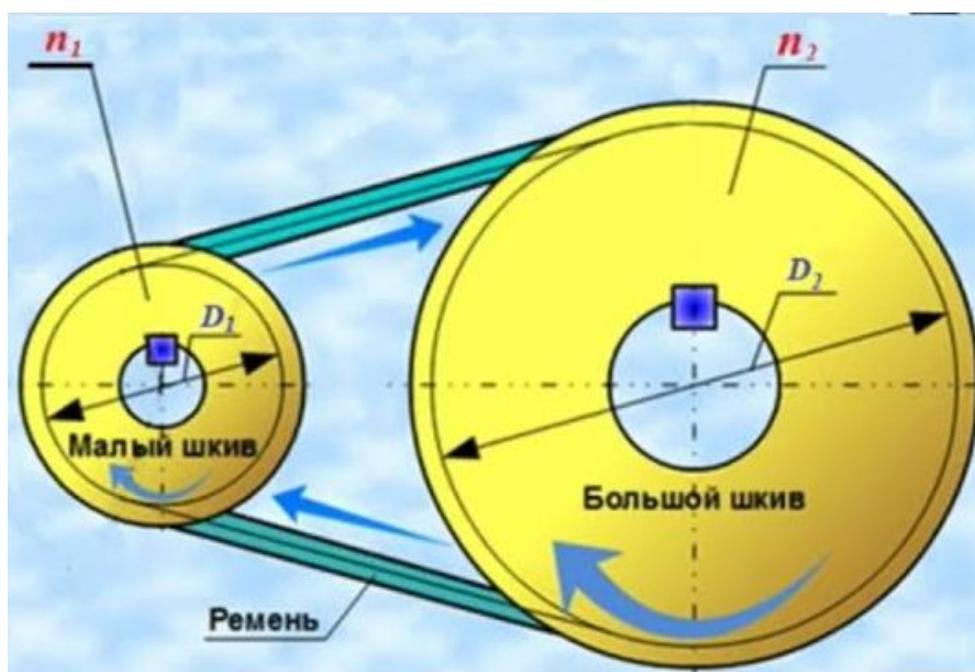


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский государственный аграрный университет»  
Институт механизации и технического сервиса

**Кафедра общинженерных дисциплин**

## **ИСПЫТАНИЕ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ**

Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплинам «Детали машин и основы конструирования», «Детали машин, основы конструирования и подъемно-транспортные машины» и «Прикладная механика» для студентов очной и заочной формы обучения по направлениям подготовки 23.03.03 - «Эксплуатация транспортно - технологических машин и комплексов», 35.03.06 - «Агроинженерия», 44.03.04 - «Профессиональное обучение (по отраслям)», 20.03.01- «Техносферная безопасность», и по специальности 23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства»



Казань, 2021

УДК 621.822  
ББК 34.445

Составители: Пикмуллин Г.В., Мудров А.П., Марданов Р.Х., Вагизов Т.Н.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Шайхутдинов Р.Р.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведения и инженерной графики» ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ Галимова Н.Я.

Практикум обсужден и рекомендован к печати на заседании кафедры общеинженерных дисциплин Казанского ГАУ (протокол № 7 от 12.01.2021г.) и заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского ГАУ (протокол № 5 от 21.01.2021г.).

Пикмуллин, Г.В. Испытание ременной передачи. Практикум для выполнения лаб. и самост. работ /Г.В. Пикмуллин, А.П. Мудров, Р.Х. Марданов, Т.Н. Вагизов. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. – 16с.

Практикум для выполнения предназначены для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплинам «Детали машин и основы конструирования», «Детали машин, основы конструирования и подъемно-транспортные машины» и «Прикладная механика» и способствуют формированию компетенций для студентов следующих направлений подготовки: 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.06 «Агроинженерия», 44.03.04 - «Профессиональное обучение (по отраслям)», 20.03.01- «Техносферная безопасность» и 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

УДК 621.822  
ББК 34.445

©Казанский государственный аграрный университет, 2021 г.

## Лабораторная работа

### ИСПЫТАНИЕ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определение геометрических и кинематических параметров ремённой передачи путем их замера и расчёта.
2. Определение относительного скольжения в зависимости от нагрузки.
3. Экспериментальное определение скольжения и КПД ремённой передачи на установке ДМ-35М.
4. Сопоставление результатов расчёта и эксперимента и составление вывода о проделанной работе.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕМЁННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Ремённая передача относится к передачам трением с гибкой связью. Состоит из ведущего и ведомого шкивов и ремня, надетого на ремни с натяжением и передающего окружное усилие с помощью трения.

По форме поперечного сечения ремня различают: плоскоремённую, клиноремённую, круглоремённую передачи.

Достоинства ремённых передач: простота конструкции и обслуживания, плавность работы - смягчение вибрации и толчков вследствие упругой вытяжки ремня, низкий уровень шума, возможность передачи мощности на значительные расстояния, возможность работы с высокими частотами вращения, малая стоимость, нет необходимости применения предохранительных устройств.

Недостатки ремённых передач: значительные габариты, повышенные силы на валы и опоры, так как суммарное натяжение обеих ветвей ремня существенно больше передаваемой окружной силы, малая долговечность

ремня в быстроходных передачах, большой износ ремней и их вытяжка, необходимость натяжного устройства, неприменимость во взрывоопасных помещениях из-за электризации ремня.

При передаче момента, усилия в ветвях ременной передачи изменяются. Ветвь, имеющая большее натяжение, является ведущей; ветвь с меньшим натяжением - ведомой, соответственно, различаются также и шкивы: ведущий и ведомый.

Если обозначить  $F_0$  - предварительное натяжение ремня, то усилия в ветвях будут:

$$\begin{aligned} \text{ведущая ветвь } F_1 &= F_0 + F_i / 2; \\ \text{ведомая ветвь } F_2 &= F_0 - F_i / 2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F_i$  - окружное усилие, Н.

С ростом окружного усилия увеличивается разность натяжений  $F_1$  и  $F_2$  (т.к.  $F_1 - F_2 = F_i$ ). Чем больше допускаемое окружное усилие, тем передача лучше, т.е. такая передача передает большую мощность.

Допускаемое полезное окружное усилие увеличивается с ростом предварительного натяжения ремня.

Для оценки тяговой способности передачи вводится коэффициент тяги  $\varphi$ , представляющий собой:

$$\varphi = F_i / 2F_0 = F_i / (F_1 - F_2), \quad (2)$$

где  $F_i$  - полезная окружная сила, Н;

$F_0$  - сила предварительного натяжения ремня, Н.

Чем выше коэффициент тяги, тем требуется меньшее предварительное натяжение.

В работающей ременной передаче имеет место тем большее скольжение ремня на шкивах, чем больше передаваемое окружное усилие. С ростом скольжения уменьшается КПД передачи и увеличивается износ ремня. В качестве критерия оценки правильности эксплуатации ремня используется коэффициент скольжения  $\xi$ , который не должен превышать заданную

величину.

Для определения работоспособности передач строят кривые скольжения - зависимость скольжения от передаваемого окружного усилия при постоянном предварительном натяжении ремня.

Скольжение  $\xi$  в ременной передаче равна:

$$\xi = (V_1 - V_2) / V_1 \cdot 100 \% = (n_1 D_1 - n_2 D_2) / n_1 D_1 \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  - окружные скорости ведущего и ведомого шкивов, м/с;

$D_1$  и  $D_2$  - диаметры ведущего и ведомого шкивов, мм;

$n_1$ , и  $n_2$  - числа оборотов шкивов.

Для случая  $D_1 = D_2$ :

$$\xi = (n_1 - n_2) / n_1 \cdot 100 \%. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлены кривые - зависимости скольжения и КПД от коэффициента  $\varphi$ . Их получают экспериментально: повышают полезную нагрузку  $P$  и определяют скольжение  $\xi$  и КПД  $\eta$ .

До некоторого определенного критического значения  $\varphi_0$  коэффициента тяги  $\varphi$  скольжение  $\xi$  вызывается упругими деформациями ремня, которые пропорциональны коэффициенту тяги, т.е. нагрузке и кривая скольжения имеет прямолинейный характер.

При дальнейшем росте нагрузки возникает дополнительное проскальзывание, и суммарное скольжение возрастает быстрее, чем нагрузка. Затем кривая скольжения резко поднимается вверх и при некотором предельном значении коэффициента тяги  $\varphi_{\max}$ , наступает полное буксование.

КПД передачи вначале растёт с ростом нагрузки вследствие уменьшения потерь холостого хода. Он достигает максимума в зоне критического скольжения коэффициента тяги  $\varphi_0$ , а потом начинает падать в связи с дополнительными потерями на буксование.

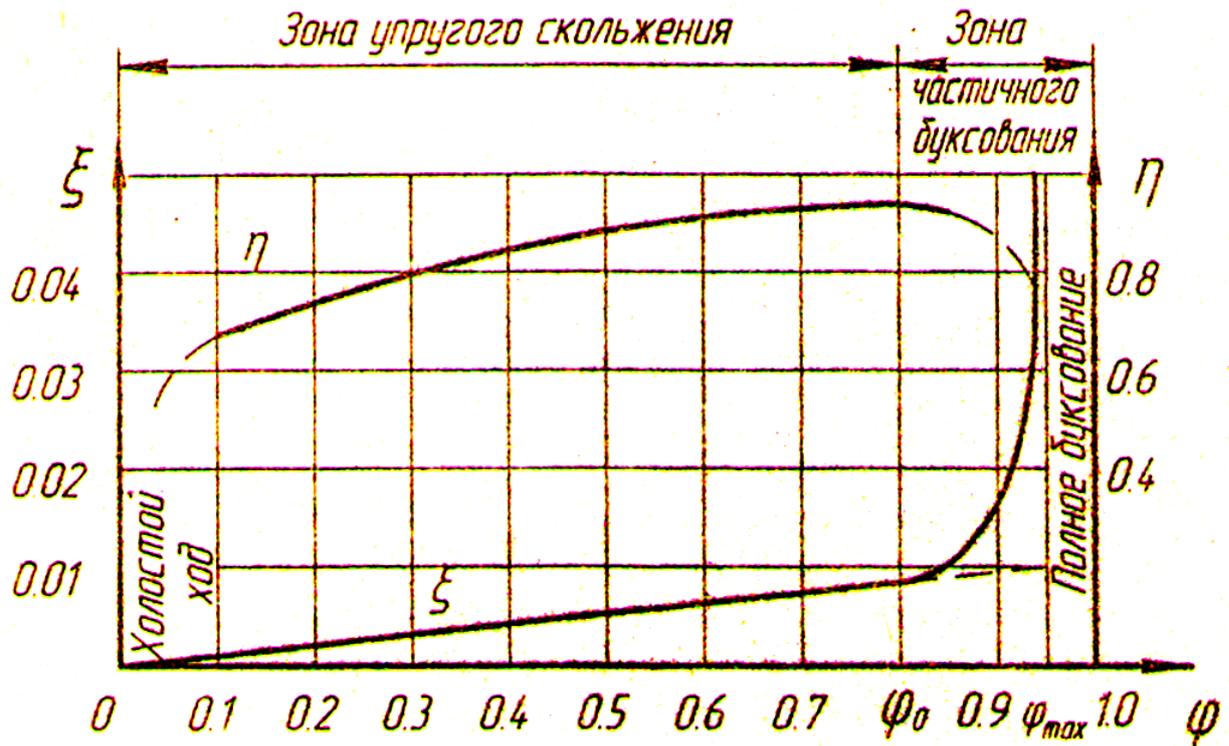


Рисунок 1 - Кривые скольжения и КПД

Кривые скольжения и КПД показывают, что оптимальная нагрузка ременных передач лежит в зоне критических значений коэффициента тяги  $\varphi_0$ , где наибольший КПД. При низких нагрузках передача недоиспользуется. Переход за критические значения коэффициента тяги допустим только при пиковых нагрузках и кратковременных перегрузках. Работа в этой области связана с повышенным износом и потерей скорости.

Экспериментально установлены средние значения  $\varphi_0$ . Для плоских ремней  $\varphi_0 = 0,4...0,6$ ; для клиновых ремней  $\varphi_0 = 0,7...0,9$ .

При нагрузках, близких к расчётным, средние значения КПД плоскоремённых передач  $\eta = 0,97$ , клиноремённых  $\eta = 0,96$ .

Наибольший КПД ременной передачи получается при  $\varphi = \varphi_0$  в этом случае этом  $\xi = 1...2\%$ .

Определив опытным путем  $\varphi_0$ , получаем основу для расчета и выбора ременной передачи для данных условий работы.

### 3. УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Установка ДМ-35М (рисунок 2) представляет собой ременную передачу с плоским или клиновым ремнем 6.

Ведущий шкив 7 закреплен на валу балансировочного электродвигателя 30, корпус которого может поворачиваться в подшипниках 28, установленных на качающейся раме 24.

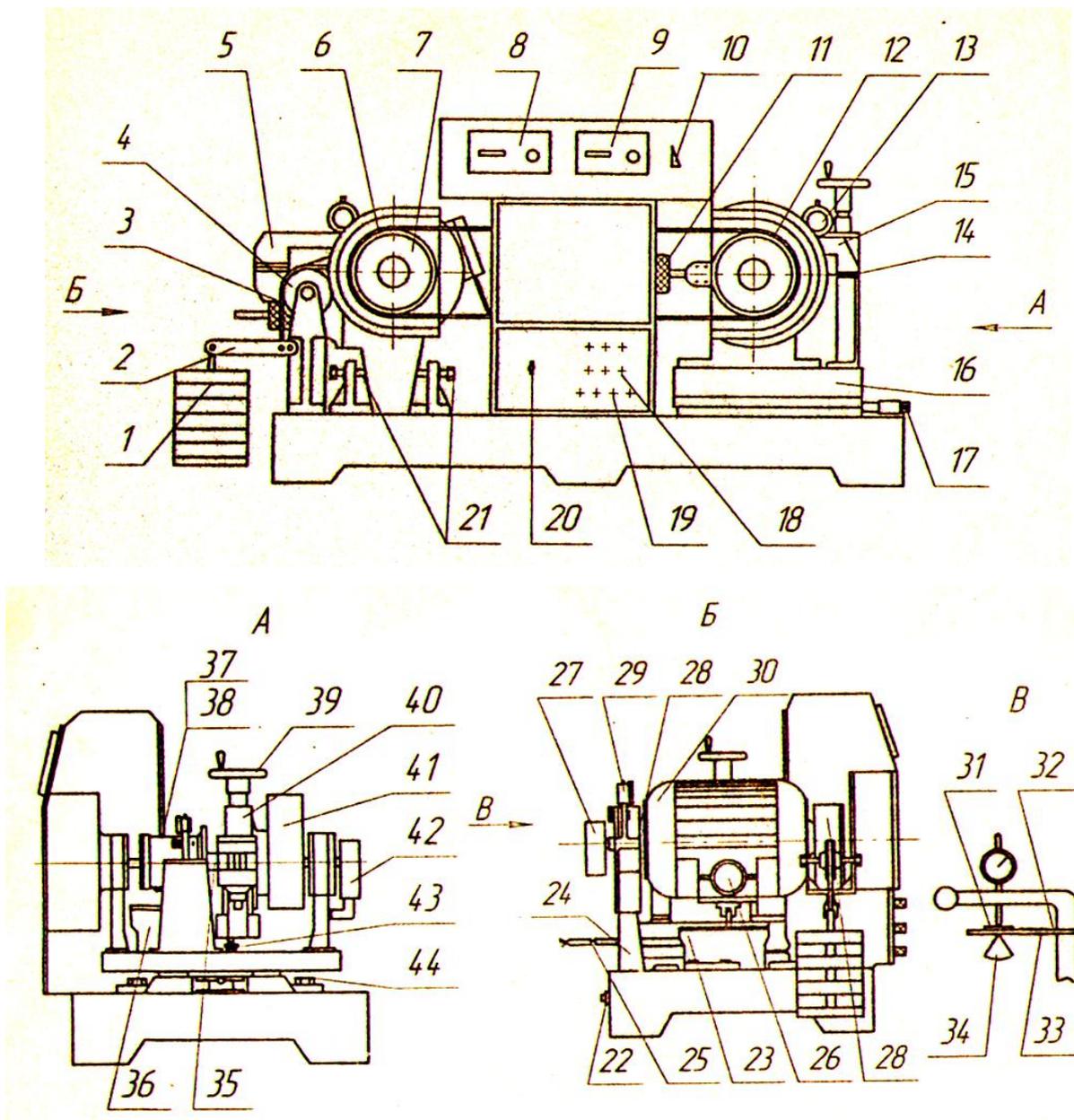


Рисунок 2 – Установка для испытания ременной передачи

Ведомый шкив 12 закреплен на валу шкива тормоза нагружения 40, колодки которого связаны с втулкой 37, которая может поворачиваться в подшипниках 38, сидящих на ведомом валу. Это создает возможность

поворота втулки вместе с колодками тормоза нагружения.

С помощью маховика 39 можно плавно менять усилия сжатия тормозных колодок, тем самым, создавая различные моменты торможения. Для охлаждения шкива тормоза к нему с торца крепится алюминиевая крыльчатка 41, защищенная кожухом.

Уравновешивающие грузы 26 и 11 предназначены для балансировки статора электродвигателя и тормоза с втулкой. Замер моментов на ведущем и ведомом валах осуществляется с помощью плоских консольных пружин 32 и 14, один конец которых заделан на кронштейнах 5 и 15, а другой упирается в призмы штырей 34 и 35, связанных со статором электродвигателя и втулкой тормоза нагружения. Эти пружины протарированы вместе с индикаторами 29 и 13.

Для предотвращения колебаний стрелок индикаторов около положения равновесия при измерении моментов на ведущем и ведомом валах в установке предусмотрены жидкостные успокоители 23 и 36. Кроме того, под подвижную часть индикаторов 29 и 13 подложен резиновый амортизатор 31, представляющий собой кружок из мягкой резины толщиной 1 мм.

Замер числа оборотов ведущего и ведомого валов осуществляется с помощью импульсных датчиков 27 и 42 и передачей импульсов по счетчику 8 и 9.

В зависимости от длины ремня и его натяжения салазки 16 вместе с ведомым валом могут перемещаться с помощью винта 17.

Качающаяся рама 24 вместе с закрепленными на ней деталями с помощью винта 21 может быть выставлена и зафиксирована в вертикальном положении.

Начальное натяжение ветвей ремня осуществляется грузами на рычаге 2 с тросом 3, прикрепленными к качающейся раме и перекинутым через ролик 4.

Включение и выключение двигателя осуществляется с помощью пакетного выключателя 20.

#### 4. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

1. Определить геометрические и кинематические параметры ремённой передачи. Результаты привести в виде таблицы 1.

2. Определить силу предварительного натяжения ремня

$$F_H = 2F_0 = 2A\sigma_0, \quad (5)$$

где  $A$  - площадь поперечного сечения ремня, мм<sup>2</sup>;

$\sigma_0$  - напряжение предварительного натяжения, МПа.

Для плоских ремней  $\sigma_0 = 1,8$  МПа.

Для клиновых ремней  $\sigma_0 = 1,2 \dots 1,5$  МПа.

Таблица 1 - Характеристика ремённой передачи

Параметр передачи и единица измерения	Обозначение	Значение
Материал ремня		
Ширина ремня, мм	$B$	
Толщина ремня, мм	$\delta$	
Площадь сечения ремня, мм <sup>2</sup>	$A$	
Диаметр ведущего шкива, мм	$D_1$	
Диаметр ведомого шкива, мм	$D_2$	
Межосевое расстояние, мм	$a$	
Длища ремня, мм	$L$	
Частота вращения ведущего вала, мин <sup>-1</sup>	$n_1$	
Окружная скорость ведущего шкива (без нагрузки)	$V$	
Число пробегов в секунду, с <sup>-1</sup>	$u$	

3. Определить массу груза 1 для натяжения ремня:

$$m = F_H / gi, \quad (6)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \cdot 10$  м/с<sup>2</sup>);

$i$  - Передаточное отношение рычажной системы (соотношение плеч рычага 2) ( $i=5$  для установки ДМ-35М).

4. Определить по формуле Эйлера максимальную полезную окружную

силу при натяжении  $F_0$ :

$$F_i = 2F_0 \cdot (e^{fa} - 1) / (e^{fa} + 1), \quad (7)$$

где  $e$ - основание натурального логарифма ( $e = 2,72$ );

$f$  - коэффициент трения ( $f = 0,35$  - для прорезиненного ремня по чугунному шкиву);

$\alpha$  - угол обхвата ( $\alpha = 180^\circ = \pi = 3,14$  рад для установки ДМ-35М).

5. Определить натяжение ведущей ветви  $F_1 = F_0 + F_i / 2$ ; и ведомой ветви  $F_2 = F_0 - F_i / 2$ .

6. Определить напряжение ведущей ветви:

$$\sigma_1 = F_1 / A, \quad (8)$$

и ведомой ветви:

$$\sigma_2 = F_2 / A. \quad (9)$$

7. Определить относительное удлинение:

$$\varepsilon = \sigma / E, \quad (10)$$

где  $E$  - модуль упругости ( $E=200$  МПа - для прорезиненных ремней),

ведущей ветви  $\varepsilon_1 = \sigma_1 / E$ ,

ведомой ветви  $\varepsilon_2 = \sigma_2 / E$ .

8. Определить относительное скольжение:

$$\xi = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot 100 \%. \quad (11)$$

9. Определить критическое значение коэффициента тяги:

$$\varphi_0 = F_i / 2F_0 \quad (12)$$

10. Определить максимальное значение коэффициента тяги:

$$\varphi_{\max} = \varphi_0 \cdot K. \quad (13)$$

где  $K$  - коэффициент перегрузки ( $K = 1,2$  - для прорезиненных ремней).

11. Построить график теоретической зависимости относительного скольжения от коэффициента тяги (рисунок 3).

12. На графике указать точку максимального КПД (для клиноремённых передач  $\eta = 0,96 = 96 \%$ ).

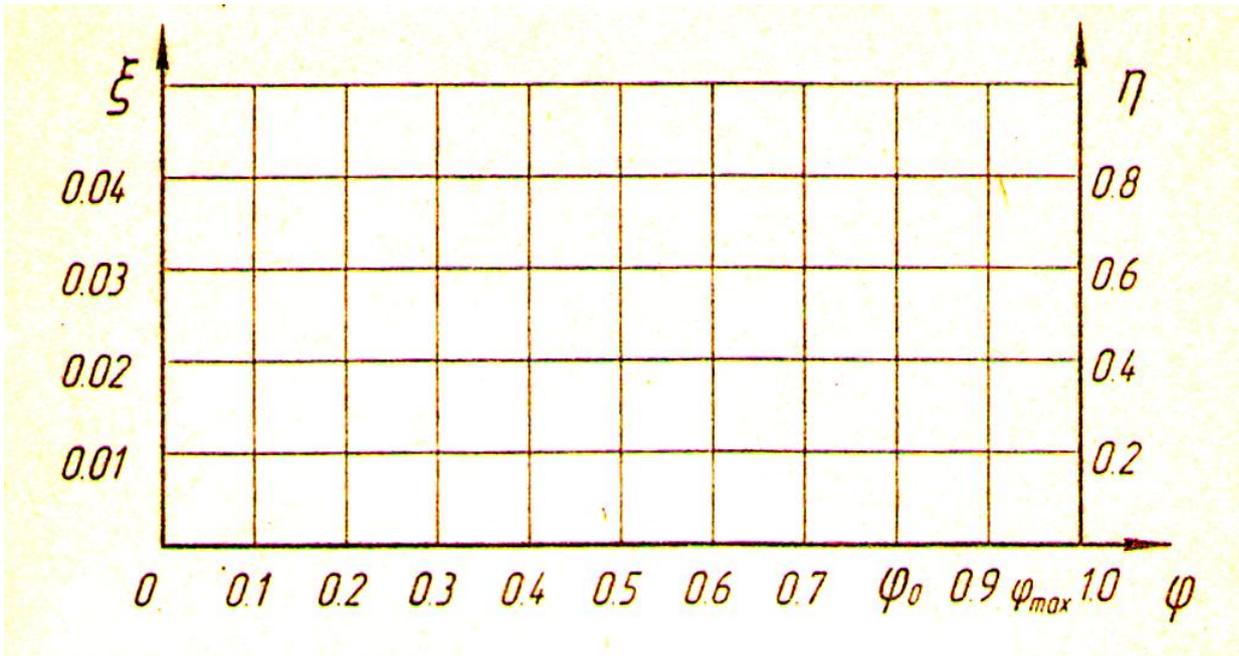


Рисунок 3 - График зависимости относительного скольжения и КПД от коэффициента тяги

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Ознакомиться с конструкцией установки ДМ-35М (рисунок 2).
  2. Ослабить тормоз до свободного вращения ременной передачи. Установить счётчики оборотов и индикатор ведущего вала на нули.
  3. Включить с разрешения преподавателя электродвигатель. Установить на нуль индикатор тормоза. Произвести ступенчатое нагружение передачи с помощью рукоятки тормоза нагружения. На каждой ступени нагружения произвести следующие замеры:
    - число оборотов ведущего  $n_1$ , и ведомого  $n_2$  валов. Для этого с помощью переключателя одновременно включить и выключить оба счетчика (8 и 9);
    - показания индикаторов двигателя и тормоза.
- Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты экспериментов

Параметры	№ замеров							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda_L$ , мм								
$K_L$ , Нм/мм	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
$T_L$ , Нм								
$\lambda_T$ , мм								
$K_T$ , Нм/мм	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
$T_T$ , Нм								
$N_L$ , мин <sup>-1</sup>								
$N_T$ , мин <sup>-1</sup>								
$\xi$ , %								
$\eta$ , %								
$\varphi$								

В таблице 2:

$\lambda_L$  - показание индикатора ведущего вала;

$K_L$  - тарировочный коэффициент пружины ведущего вала;

$T_L$  - крутящий момент на ведущем валу;

$\lambda_T$  - показание индикатора ведомого вала;

$K_T$  - тарировочный коэффициент пружины ведомого вала;

$T_T$  - крутящий момент на ведомом валу;

$N_L$  - число оборотов ведущего вала;

$N_T$  - число оборотов ведомого вала;

$\xi$  - относительное скольжение;

$\eta$  - коэффициент полезного действия;

$\varphi$  - коэффициент тяги.

4. Для каждой ступени нагружения определить и занести в таблицу 2 значения: крутящих моментов на ведущем и ведомых валах, относительного скольжения, КПД и коэффициента тяги.

Пересчёт показаний индикатора в крутящий момент производится по формулам:  $T_L = K_L \cdot \lambda_L$ ;  $T_T = K_T \cdot \lambda_T$ .

Относительное скольжение определяется по формуле:

$$\xi = (1 - N_T / N_L) 100\%. \quad (14)$$

КПД передачи определяется по формуле:

$$\eta = T_T N_T / T_L N_L. \quad (15)$$

Коэффициент тяги определяется по формуле:

$$\varphi = T_L / DF_0, \quad (16)$$

где  $D$  - диаметр ведущего шкива ( $D = 0,125$  м)

5. Построить экспериментальные графики скольжения и КПД (на теоретическом графике).

6. Сопоставить результаты эксперимента с расчётом и сделать заключение.

### Содержание отчета

#### Лабораторная работа

#### ИСПЫТАНИЕ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Цель работы — ...

Оборудование, инструменты — ...

Схема лабораторной установки.

Обработка результатов и график относительного скольжения и КПД от коэффициента тяги.

Таблица рассчитанных параметров (таблица 2).

Выводы.

#### Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды ременных передач.
2. В чем заключаются достоинства и недостатки ременных передач?
3. Геометрия и кинематика ременных передач.
4. Способы натяжения ремней.
5. Силы, действующие на валы от ременной передачи.

6. Расскажите о принципе действия ременных передач.
7. В чем заключаются критерии работоспособности ременных передач?
8. Перечислите геометрические и кинематические параметры ременных передач.
9. Какие возникают силы в ветвях ремня?
10. Обоснуйте, какое напряжение в работающем ремне обуславливает его долговечность и вероятностное усталостное разрушение.
11. От чего зависит величина коэффициента тяги  $\varphi$ ?
12. В чем заключаются преимущества клиноременных передач по сравнению с плоскоременными?
13. Обоснуйте необходимость рациональных соотношений толщины ремня с диаметром ведущего шкива ( $\delta/D$ ) с точки зрения долговечности ремня.
14. Объясните принцип действия лабораторной установки.
15. Объясните, как создается начальное (предварительное) натяжение ремня в ременных передачах и, в частности, на лабораторной установке.
16. Пользуясь графиком на рисунке 2, поясните, как определяется величина крутящего момента на валу двигателя  $T_d$ .
17. Объясните, почему в зоне частичного буксования КПД передачи резко падает.
18. Пользуясь графиком зависимостей  $\xi = f(\varphi)$ , и  $\eta = f(\varphi)$ , определите оптимальные условия работы ременной передачи.
20. Оцените влияние толщины ремня на максимальные напряжения и долговечность.
21. Как влияет диаметр ведущего шкива на величину максимального напряжения?
22. Как влияет диаметр ведущего шкива на величину максимального напряжения и напряжения изгиба?

### **Вопросы для самостоятельной работы:**

1. Какой механизм называют ремённой передачей?
2. Перечислите виды ременных передач.
3. Принцип работы ремённой передачи.
4. Выполнить экспериментальную часть.
5. Составить отчет по лабораторной работе.

### **Список литературы**

1. Жуков, К.П. Проектирование деталей и узлов машин: Учебник для ВУЗов / К.П. Жуков. - М.: Машиностроение, 2014. - 648 с.
2. Курмаз, Л.В. Детали машин. Проектирование: Справочное учебно-методическое пособие / Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. - М.: Высшая школа, 2015.-309 с.
3. Шелофаст, В.В. Основы проектирования машин / В.В. Шелофаст. – М.: Изд-во АПМ, 2015.-472 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, в 3 т., 2011.
5. Гурин, В.В. Детали машин и курсовое проектирование. Часть 1: Учебник для бакалавриата и магистратуры / В.В. Гурин, В.М. Замятин, А.М. Попов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 366 с.
6. Решетов, Д.И. Детали машин. Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов /Д.И. Решетов. – 9-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2009. – 496 стр..
7. Куклин, Н. Г. Детали машин: Учебник / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина, В. К. Житков, 9-е изд., перераб. и доп - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 512 с.
8. Хруничева, Т.В. Детали машин: типовые расчеты на прочность: Учебное пособие / Т.В. Хруничева. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014.

- 224 с.: ил.

9. Олофинская, В.П. Детали машин. Основы теории, расчета и конструирования: Учебное пособие / В.П. Олофинская. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 72 с.

10. Зубарев, Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении: Учебник / Ю.М. Зубарев. - СПб.: Лань, 2015. - 320 с.