

**ОПД.Ф.02.04 ДЕТАЛИ МАШИН**  
**СТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОЙ**  
**СПОСОБНОСТИ РЕМЁННЫХ ПЕРЕДАЧ**  
Методические указания к лабораторной работе

Методические указания составлены на кафедре «Детали машин» и предназначены для студентов, выполняющих лабораторный практикум по дисциплине «Детали машин». Указания содержат сведения об особенностях работы ремённых передач. Приведены основные теоретические положения. Дано понятие тяговой способности. Описана экспериментальная установка и ход выполнения работы. Лабораторная работа рассчитана на два академических часа.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Ремённые передачи, благодаря ряду достоинств, продолжают сохранять своё место в определённой области приводов машин. Однако несмотря на достаточно широкое распространение и многовековой опыт использования, в теории ремённых передач остается много нерешенных проблем. До настоящего времени инженерный расчёт ремённых передач базируется не на моделях напряженно-деформированного состояния, а на экспериментальных данных и опыте эксплуатации. В этом смысле лабораторная работа по статическому исследованию ремённых передач рассматривается не только как проверка и подтверждение определённых теоретических положений, но и как возможность получения результатов, имеющих практическое значение.

Лабораторная работа выполняется на оригинальной установке, разработанной и созданной доцентом кафедры «Детали машин» И. Г. Левитским. Установка, при всей простоте, позволяет провести комплекс работ по исследованию характеристик и свойств ремённой передачи. Данная лабораторная работа может рассматриваться как продолжение и развитие идей И. Г. Левитского.

### 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ремённой называют передачу, состоящую из двух или более шкивов, охватываемых гибким ремнём, надетым на шкивы с натяжением (рис. 1). По способу передачи движения ремённая передача относится к передачам трения, движение от одного шкива к другому осуществляется силами трения  $F_{тр}$ , распределёнными по дуге обхвата (контакта) ремня и шкива.

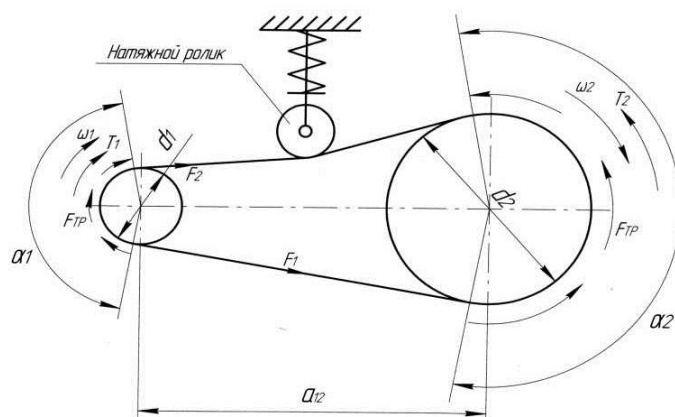


Рис. 1

Центральные углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , которые стягивают дуги обхвата, называют углами обхвата. Работоспособность передачи определяет меньший из двух углов, обычно это угол обхвата на меньшем шкиве  $\alpha_1$ . Предварительное натяжение ветвей ремня с усилием  $F_0$  обеспечивает прижатие ремня к шкиву. Возникновение нормальной силы в контакте точек ремня и шкива обуславливает появление сил трения при попытке смещения ремня относительно шкива при передаче движения. Способы натяжения ремня могут быть различными (подробно см. [1, с. 281]). На схеме (см. рис. 1) натяжение осуществляется с помощью натяжного ролика. После приложения крутящего момента  $T_1$  к ведущему шкиву происходит перераспределение сил натяжения ветвей, натяжение ведущей ветви увеличивается от  $F_0$  до  $F_1$ , натяжение ведомой уменьшается от  $F_0$  до  $F_2$ . Важно отметить, что сумма натяжения ветвей до и после приложения момента к ведущему шкиву остается неизменной, т. е.

$$2 F_0 = F_1 + F_2. \quad (1)$$

Распределённая по дуге обхвата сила трения может рассматриваться как окружная сила  $F_t$ , приложенная к шкиву, и из условия равновесия шкива определяться как разница в силе натяжения ветвей ремня ведущей  $F_1$  и ведомой  $F_2$ :

$$F_{mp} = F_t = F_1 - F_2. \quad (2)$$

Максимальную силу трения или окружную силу, которая может быть реализована в контакте ремня и шкива, можно назвать абсолютной тяговой способностью передачи. Отношение сил натяжения ветвей  $\frac{F_1}{F_2}$  называют относительной тяговой способностью.

Для качественной оценки ремённой передачи и уяснения влияния различных параметров на тяговую способность обычно используют известное из механики соотношение Эйлера:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f \alpha_1}, \quad (3)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма,  $f$  – коэффициент трения между ремнём и шкивом.

Следует, однако, помнить, что формула Эйлера получена для модели, представляющей собой абсолютно гибкую, нерастяжимую нить, охватывающую гладкий неподвижный цилиндр (рис. 2).

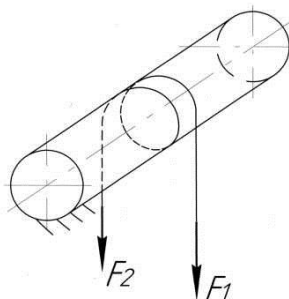


Рис. 2

Реальная ремённая передача не в полной мере соответствует модели Эйлера. Так, например, ремень нельзя считать абсолютно гибким, цилиндр (шкив) вращается, и ремень частично или полностью скользит по шкиву. Тем не менее, формула Эйлера позволяет наглядно продемонстрировать, что с увеличением угла обхвата тяговая способность передачи увеличивается, и она также возрастает с увеличением коэффициента трения. Отмеченные заключения активно используются при проектировании передач. Например, использование натяжного ролика в передаче (см. рис. 1) позволяет не только обеспечивать стабильное натяжение ветвей, но и увеличивает углы обхвата  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Существенно увеличить силу трения (приведенный коэффициент трения) позволяет, в частности, использование клиноременной передачи. Сопоставить тяговую способность плоско и клиноременной передач можно, рассмотрев силу трения, возникающую в контакте элементарного участка ремня, ограниченного углом  $d\alpha$ , и шкива (рис. 3).

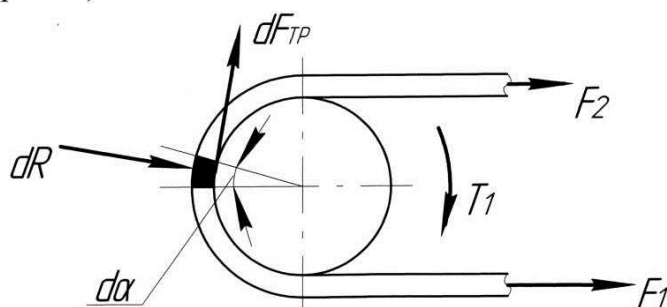


Рис. 3

Можно считать, что на данном участке силы прижатия распределены равномерно. Обозначим результирующую силу прижатия  $dR$ . Под действием внешней силы прижатия  $dR$  и нормальной реакции  $dF_n$  ( $dF_n^n$  и  $dF_n^k$ ), действующей на ремень со стороны шкива, элементарный участок ремня и клино- и плоскоременной передач (рис. 4) находится в равновесии.

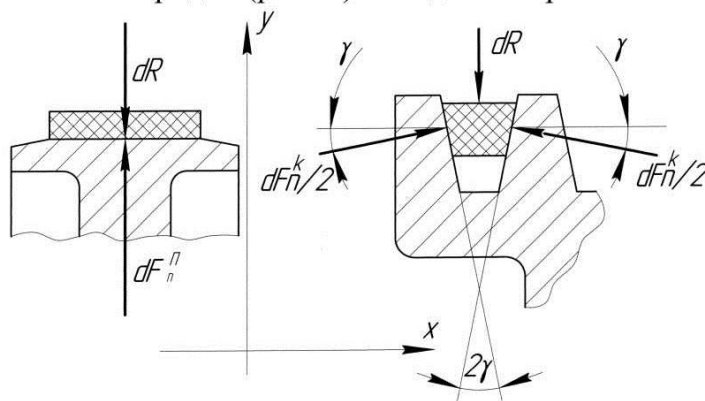


Рис. 4

Максимальная сила трения  $dF_{mp}$ , реализуемая в контакте участка ремня и шкива, во всех случаях определяется известным соотношением

$$dF_{mp} = dF_n \cdot f. \quad (4)$$

Для определения нормальной силы можно воспользоваться различными выражениями условий равновесия: составить замкнутый многоугольник сил или приравнять нулю сумму проекций всех сил и реакций, действующих на участок ремня. В рассматриваемом случае достаточно спроектировать силы и реакции на вертикальную ось  $Y$ . В соответствии с условием равновесия  $\sum Y = 0$ : для плоского ремня

$$\begin{aligned} -dR + dF_n^n &= 0 \\ dF_n^n &= dR \\ dF_{mp}^n &= dR \cdot f; \end{aligned} \quad (5)$$

для клинового ремня

$$\begin{aligned} -dR + 2 \frac{dF_n^k}{2} \cdot \sin \gamma &= 0 \\ dF_n^k &= \frac{dR}{\sin \gamma} \\ dF_{mp}^k &= \frac{dR}{\sin \gamma} \cdot f. \end{aligned} \quad (6)$$

Обычно для клинорёменных передач принимают угол  $2\gamma \approx 40^\circ$ ,  $\gamma \approx 20^\circ$ ,  $\frac{l}{\sin \gamma} \approx 3$ , следовательно,

$$dF_{mp}^k \approx 3 dR \cdot f. \quad (7)$$

Можно заключить, что элементарная сила трения в контакте участка клинового ремня примерно в три раза превышает элементарную силу трения в контакте участка плоского ремня и шкива:

$$dF_{mp}^k \approx 3 dF_{mp}^n. \quad (8)$$

Это заключение с определенными допущениями можно распространить и на передачу в целом.

Сопоставлять эффективность различных типов и конструкций ремённых передач, используя величину реализуемой силы трения или понятие тяговой способности, оказывается неудобным и некорректным. Как уже отмечалось, сила трения определяется величиной нормальной силы прижатия в контакте ремня и шкива, последняя же непосредственно зависит от силы натяжения ремня. Увеличивая силу предварительного натяжения, можно неограниченно увеличивать силу трения, а следовательно, тяговую способность. С другой стороны, увеличение силы натяжения, увеличивает напряжение в ремне и, следовательно, резко сокращает его срок службы. Таким образом, тяговая способность не может рассматриваться как комплексный показатель эффективности передачи.

Более объективной характеристикой ремённой передачи является коэффициент тяги

$$\varphi = \frac{K_t}{2F_0}. \quad (9)$$

Он определяет удельную тяговую способность, т. е. величину полезной передаваемой нагрузки, приходящейся на единицу силы предварительного натяжения. В данной работе определение коэффициента тяги и сопоставление эффективности передач является основной задачей.

## **2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы: изучение вопросов механики взаимодействия ремня и шкива в плоско- и клиноремённой передачах.

Задачи работы: экспериментально определить значение коэффициента тяги при различных условиях работы передачи, исследовать влияние на его величину типа передачи и угла обхвата; сопоставить эффективность клино- и плоскоремённой передач.

## **3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

Лабораторная работа выполняется на моделирующей работу ременной передачи установке, общий вид которой показан на рис. 5.

Схема установки изображена на рис. 6. Совмещенные шкивы плоско - и клиноремённой передач 1 установлены на стойке 2 и имеют возможность свободно вращаться. Установочный («натяжной») ролик 3 закреплен на рычаге 4, ось вращения которого совмещена с осью вращения шкивов. На стойке зафиксирован диск (лимб) 5 с фиксатором 6, позволяющим устанавливать ролик в положение, обеспечивающее заданный угол обхвата шкива ремнём. Соответствующие значения углов обхвата  $\alpha$  указаны на диске. Рукоятка 7 позволяет приводить во вращение шкивы. К установке прилагается отрезок стандартного клинового ремня 8, позволяющего моделировать и клино-, и плоскоремённую передачи: две подвески 9 весом 3 Н для установки грузов, надеваемые на концы ремня, и комплект грузов 10.



Рис. 5

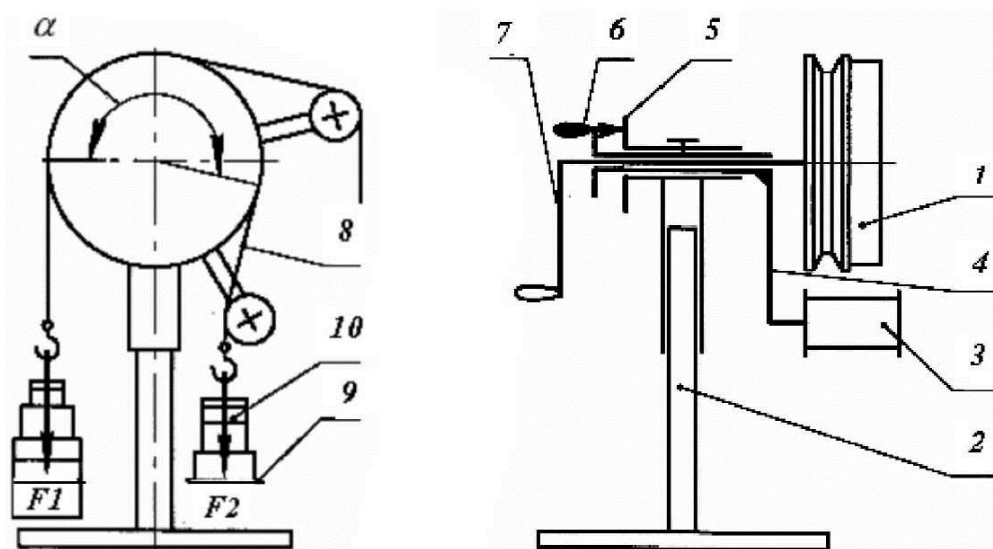


Рис. 6

#### 4. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Не приступайте к работе, не изучив методики и правил техники безопасности.
2. Не оставляйте одну из ветвей ремня в ненапряженном состоянии.
3. Не оставляйте без присмотра грузы, находящиеся в подвешенном состоянии.
4. Вращать шкив следует медленно, без рывков.
5. Приступая к нагружению, убедитесь в надежной фиксации рычага установочного ролика на диске.

#### 5. ВНЕАУДИТОРНАЯ ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить настоящие методические указания и при необходимости соответствующие разделы теоретического курса: [2 с. 267-268, 276-279, 285-286]; [1 с. 278-290]. Допуск и выполнение работы осуществляются по результатам собеседования на предмет знания основ теории, уяснения целей и задач работы и порядка выполнения, а также при наличии бланка отчета, выполненного по установленной (прил. 1) форме.



Бланк отчета должен содержать:

- титульный лист;
- цель и задачи работы;
- основные положения и расчетные зависимости, необходимые для успешного выполнения и защиты лабораторной работы;
- схему экспериментальной установки (рис. 6);
- бланк таблицы для записи и обработки результатов замеров (прил. 2);
- лист с координатной сеткой для построения зависимостей коэффициентов тяги плоскоременной  $\phi''$  и клиноременной  $\phi^k$  передач от угла обхвата  $\alpha$  (обе кривые строятся на одной координатной сетке).

## 6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у лаборанта или преподавателя ремень, подвески и комплект грузов.
2. Преподаватель назначает суммарную массу (вес) грузов, которые должны устанавливаться на подвесках, или определяет груза, во втором случае студенты подсчитывают суммарный вес. Можно полагать, что суммарный вес – есть сила предварительного натяжения ветвей  $2F_0$ .
3. Выбранные груза делятся на две неравные части и устанавливаются на подвески.
4. Аккуратно надевается ремень на плоский шкив таким образом, чтобы широкая кромка контактировала со шкивом.
5. Устанавливается ролик в положение, соответствующее углу обхвата  $90^\circ$ . Ремень должен охватывать ролик 3 (рис. 6).
6. На вертикальную ветвь ремня (ведущую) крепится подвеска с большим весом грузов, на ветвь, проходящую через ролик (ведомую), – с меньшим.
7. Плавным поворотом рукоятки 7 попытаться приподнять подвеску на ведущей ветви (с большим грузом).
8. Если ремень не скользит по шкиву и груз  $F_1$  поднимается, то это означает что, максимальная сила трения в контакте ремня и шкива превышает разницу в натяжении ветвей:

$$F_{тр}^{max} \gg F_1 - F_2. \quad (10)$$

9. Переставляя последовательно груза с ведомой ветви  $F_2$  на ведущую  $F_1$ , добиться частичного буксования (начало скольжения) ремня, т. е. следует установить в положение, при котором тяговая способность передачи реализована полностью:

$$F_{тр}^{max} = F_1 - F_2. \quad (11)$$

10. Если после поворота рукоятки (п. 7) ремень заметно скользит по шкиву и груз  $F_1$  остается неподвижным, следовательно, разница в натяжении ветвей превышает максимальную силу трения

$$F_t = F_1 - F_2 \gg F_{\text{тр}}^{\text{max}}, \quad (12)$$

что соответствует полному буксованию; необходимо, последовательной перестановкой грузов с ведущей ветви  $F_1$  на ведомую  $F_2$  добиться минимального, с точки зрения наблюдателя скольжения, т. е. выполнения условия (11).

11. Зафиксировав положение относительного покоя ремня или минимального скольжения, подсчитать вес груза  $F_2$  на ведомой ветви с учетом веса подвески и занести это значение в таблицу для записи результатов замеров и расчетов (табл. 1 прил.) в строку  $F_2$  и колонку, соответствующую  $\alpha = 90^\circ$ , плоскоремненной передачи.
12. Установить ролик в положение, соответствующее углу обхвата  $\alpha = 120^\circ$ , и перестановкой грузов, по аналогии с п. п. 6-10, добиться минимального скольжения ремня; подсчитать вес груза  $F_2$  и занести его значение в соответствующую колонку таблицы отчета.
13. Аналогично определить минимальные значения  $F_2$  для углов обхвата  $\alpha = 150^\circ$ ,  $\alpha = 180^\circ$ ,  $\alpha = 210^\circ$ .  
Следует обращать внимание на то, что суммарный вес грузов  $F_1 + F_2 = 2F_0$  должен быть постоянный при всех замерах.
14. Аккуратно снять подвески с ремня и установить ремень в клиновую канавку шкива, моделируя клиноремённую передачу.
15. При том же суммарном весе грузов определить минимальное значение  $F_2$ , устанавливая последовательно те же углы обхвата, занести значение  $F_2$  в соответствующие колонки таблицы клиноремённой передачи.
16. Вычислить значения  $F_t = 2F_0 - F_2$  для каждого угла обхвата плоского и клинового ремня, занести результаты в таблицу.
17. Вычислить значения наибольшей полезной передаваемой нагрузки  $F_t = F_1 - F_2$  для всех замеров и занести результаты в таблицу.
18. Вычислить значения коэффициента тяги  $\varphi = \frac{F_t}{2F_0}$  для каждого угла обхвата клинового и плоского ремня, занести результаты в таблицу.
19. Представить результаты замеров и расчетов преподавателю и после их утверждения разобрать установку и сдать комплект грузов, подвески и ремень лаборанту или преподавателю.
20. Построить в одних координатных осях графики зависимости  $\varphi^n - f(\alpha)$  и  $\varphi^k - f(\alpha)$  для клинового и плоского ремня.
21. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями, изложенными в приложении.
22. По результатам работы и анализа графиков сделать выводы:
  - какова зависимость коэффициентов тяги  $\varphi^n$  и  $\varphi^k$  от угла обхвата  $\alpha$ ;
  - каково соотношение между коэффициентами тяги клино - и плоскоремённой передач, объяснить причину их различия.

## 7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какой механизм называют ремённой передачей?
2. Принцип работы ремённой передачи.
3. Что понимают под силой трения и от каких факторов она зависит?
4. Что понимают под коэффициентом трения и от каких факторов он зависит?
5. Что понимают под углом обхвата в ремённой передаче?
6. Чем обусловлена необходимость предварительного натяжения ремней в ремённой передаче?
7. Что понимают под абсолютной и относительной тяговой способностью ремённой передачи?
8. Записать формулу Эйлера и объяснить, почему она непосредственно не может быть использована для расчета ремённой передачи?
9. Чем объяснить более высокую тяговую способность клинорёменной передачи?
10. Чем объяснить зависимость тяговой способности от угла обхвата?
11. Что понимают под коэффициентом тяги и в чем заключается удобство этого показателя при оценке эффективности ремённых передач?

## 8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989.
2. Иванов М. Н. Детали машин : учеб. для машиностроительных специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов – 8-е изд. – М. : Высш. шк., 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Отчет выполняется каждым студентом на листах формата А4 (210 x 297 мм).
2. Титульный лист оформляется в соответствии с установленными требованиями (образец имеется в зале курсового проектирования и в лаборатории).
3. Листы отчета заполняются с одной стороны. Чертежи, схемы и графики выполняются карандашом.
4. Графики строятся на бумаге с миллиметровой сеткой. Точки, относящиеся к различным кривым, обозначаются на графиках по-разному (крестиками, кружочками, треугольниками и т.п.).
5. Отчет, не отвечающий перечисленным требованиям, не принимается и подлежит исправлению и переделке.
6. Отчет должен содержать:
  - а) цель и задачи работы;
  - б) основные положения и расчетные зависимости (формулы 1-3, 8, 9);
  - в) схему лабораторной установки (рис. 5);
  - г) таблицу для записи и обработки результатов (табл. 1 приложения);
  - д) графики зависимостей  $\varphi^n$   $f(\alpha)$  и  $\varphi^k$   $f(\alpha)$ , построенные на одной координатной сетке в одном масштабе;
  - е) выводы по работе.

Результаты замеров и расчетов

Определяемые величины		Численное значение					
Наименование	Обозначение, формула, размерность	При угле обхвата $\alpha$					
		$90^0$	$120^0$	$150^0$	$180^0$	$210^0$	
Суммарное натяжение ветвей	$F_1 + F_2 - 2F_0, H$						
Плоскоремённая передача							
Натяжение ведомой ветви	$F_2, H$						
Натяжение ведущей ветви	$F_1 - 2F_0 - F_2, H$						
Полезная передаваемая нагрузка	$F_t = F_1 - F_2, H$						
Коэффициент тяги	$\varphi^n = \frac{F_t}{2F_0}$						
Клиномре́мённая передача							
Натяжение ведомой ветви	$F_2, H$						
Натяжение ведущей ветви	$F_1 - 2F_0 - F_2, H$						
Полезная передаваемая нагрузка	$F_t = F_1 - F_2, H$						
Коэффициент тяги	$\varphi^k = \frac{F_t}{2F_0}$						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие вопросы .....	3
1. Основные положения .....	3
2. Цель и задачи работы .....	7
3. Приборы и оборудование .....	7
4. Правила безопасного выполнения работы .....	8
5. Внеаудиторная подготовка к выполнению работы .....	8
6. Порядок выполнения работы .....	9
7. Вопросы для самопроверки .....	11
8. Библиографический список .....	11
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	13