



Министерство образования  
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**Кафедра «Теория механизмов и машин»**

# **КИНЕМАТИКА ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Учебно-методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине «Теория механизмов, машин  
и манипуляторов»**

**Минск  
БНТУ  
2011**

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Теория механизмов и машин»

КИНЕМАТИКА ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине «Теория механизмов, машин  
и манипуляторов»

3-е издание, исправленное

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
вузов Республики Беларусь по образованию  
в области машиностроения*

Минск  
БНТУ  
2011

УДК 621.01(076.5)

ББК 34.41я7

К 41

Издается с 2009 г.

Авторы:

П.П. Анципорович, А.М. Авсиевич, А.Б. Дворянчикова,  
В.А. Николаев

Рецензенты:

А.Т. Скойбеда, А.В. Чигарев

К 41 Кинематика зубчатых механизмов: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» / П.П. Анципорович [и др.]. – 3-е изд., испр. – Минск: БНТУ, 2011. – 26 с.

ISBN 978-985-525-607-7.

Издание включает раздел «Кинематический анализ зубчатых механизмов» дисциплины «Теория механизмов, машин и манипуляторов». Предусмотрено выполнение лабораторной работы «Составление схем и кинематический анализ зубчатых механизмов». Содержит теоретическую часть, описание лабораторной работы и контрольные вопросы.

Рекомендуется студентам инженерно-технических специальностей.

Второе издание выпущено в 2010 г. в БНТУ.

УДК 621.01(076.5)  
ББК 34.41я7

ISBN 978-985-525-607-7

© БНТУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Теоретическая часть	4
1.1. Классификация зубчатых механизмов	4
1.2. Кинематический анализ зубчатых механизмов с неподвижными осями колес	8
1.3. Кинематический анализ зубчатых механизмов с подвижными осями колес	15
2. Лабораторная работа «Составление схем и кинематический анализ зубчатых механизмов»	19
3. Контрольные вопросы	24
4. Литература	25

# 1. Теоретическая часть

## 1.1. Классификация зубчатых механизмов

*Зубчатыми* называют механизмы, в состав которых входят зубчатые звенья. Они предназначены для передачи вращения между удалёнными осями с заданным отношением угловых скоростей. Их называют также зубчатыми передачами. Простейший зубчатый механизм состоит из двух зубчатых звеньев и стойки.

По *взаимному расположению* осей колёс зубчатые механизмы делятся на 3 группы:

- 1) с параллельными осями;
- 2) с пересекающимися осями;
- 3) со скрещивающимися осями.

Механизмы с параллельными осями относятся к плоским, а с пересекающимися и скрещивающимися осями – к пространственным.

В передачах с параллельными осями используются цилиндрические колеса. *Цилиндрическая передача* может быть с внешним (рис. 1, а) и с внутренним зацеплением (рис. 1, б). Частным случаем цилиндрической передачи является *реечная передача* (рис. 2), предназначенная для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

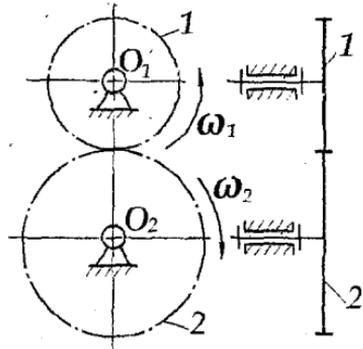
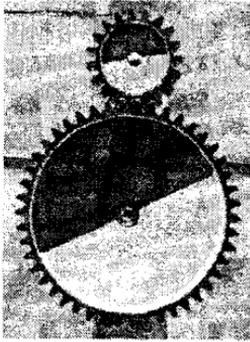
Передачи *с пересекающимися осями* осуществляются коническими колесами (рис. 3).

Передачи между скрещивающимися осями бывают:

- 1) червячные (рис. 4); червяк представляет собой однозаходный или многозаходный винт, может быть цилиндрическим или глобоидным;
- 2) винтовые (рис. 5), колёса которых нарезаны как косозубые, но с большим углом наклона зубьев;
- 3) гипоидные (рис. 6), в них используются конические колеса, оси которых скрещиваются.

К зубчатым также относятся волновые передачи и передачи прерывистого движения (мальтийские, храповые механизмы).

*a*



*б*

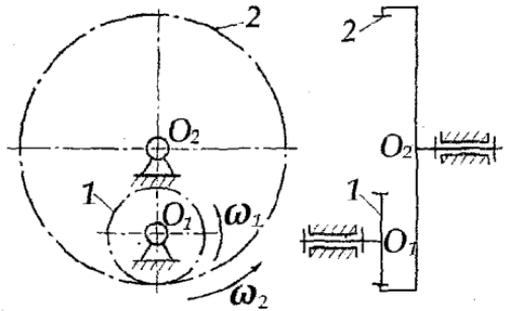


Рис. 1. Вид и схема цилиндрических зубчатых передач: *a* – с внешним зацеплением, *б* – с внутренним зацеплением

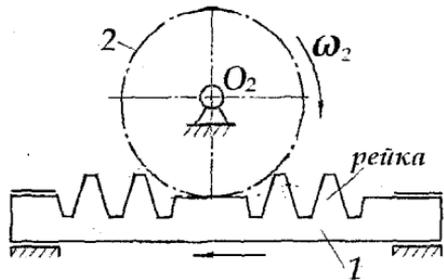
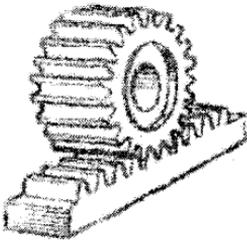


Рис. 2. Вид и схема реечной передачи

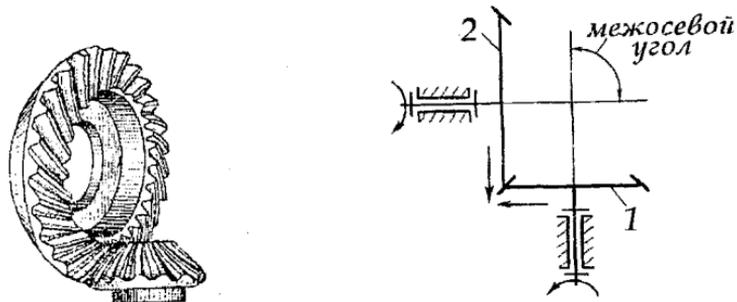


Рис. 3. Вид и схема конической передачи

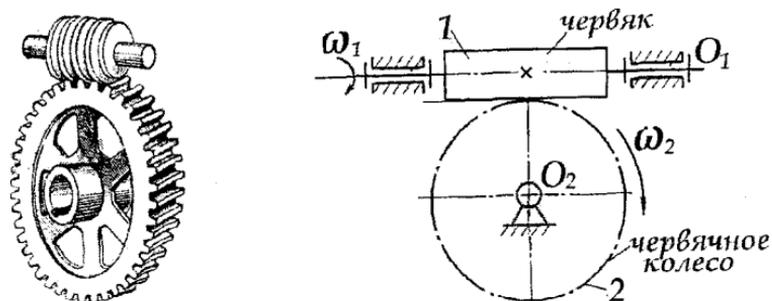


Рис. 4. Вид и схема червячной передачи

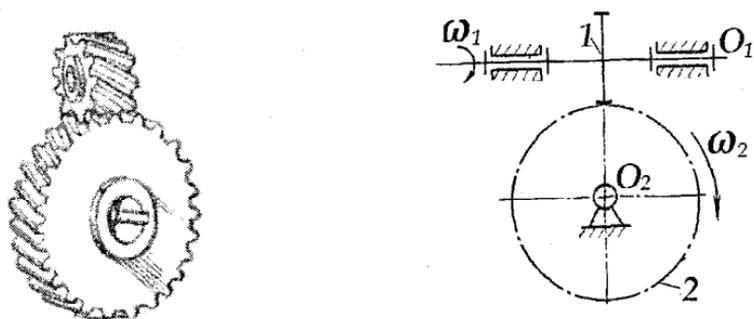


Рис. 5. Вид и схема винтовой передачи

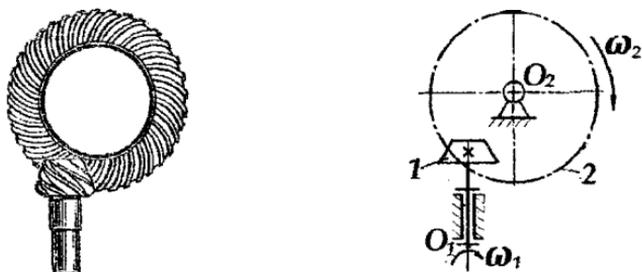


Рис. 6. Вид и схема гипоидной передачи

Основной кинематической характеристикой зубчатых механизмов является *передаточное отношение*, равное отношению угловых скоростей звеньев. Так передаточное отношение от звена  $K$  к звену  $L$  равно

$$u_{KL} = \frac{\omega_K}{\omega_L},$$

а от звена  $L$  к звену  $K$

$$u_{LK} = \frac{\omega_L}{\omega_K},$$

тогда

$$u_{LK} = \frac{1}{u_{KL}}.$$

Эти формулы являются справедливыми независимо от того, соединены ли звенья  $K$  и  $L$  непосредственно, или между ними имеются промежуточные звенья.

Если звенья  $K$  и  $L$  вращаются в одной или параллельных плоскостях в одинаковом направлении, то передаточное отношение передачи *положительно*, и *отрицательно* – если вращение их происходит в разных направлениях. В простейшей цилиндрической передаче при внешнем зацеплении (см. рис. 1, а) знак передаточного отношения «-», а при внутреннем (см. рис. 1, б) – «+».

Передаточное отношение *одноступенчатой передачи* с неподвижными осями от колеса 1 к колесу 2 можно выразить через числа зубьев этих колес

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{z_2}{z_1}; \quad u_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{z_1}{z_2}.$$

В передаче из двух зубчатых колес меньшее – *шестерня*, большее – *колесо*. Отношение числа зубьев колеса к числу зубьев шестерни называется *передаточным числом*

$$u = \frac{z_K}{z_{II}}.$$

Зубчатые механизмы, предназначенные для уменьшения угловой скорости выходного звена, называются *понижающими* или *редукторами*. Передача для повышения скорости – *мультипликатор*.

Предельные значения передаточного отношения для одной зубчатой пары или ступени составляют: в цилиндрической передаче – 10, конической – 6, червячно-винтовых – 80. Превышение предельных значений приводит к ухудшению качественных характеристик передач и снижению коэффициента полезного действия. Чтобы этого не случилось, проектируют сложные механизмы с большим числом зубчатых колес.

Сложные зубчатые механизмы делятся на две группы: с неподвижными и с подвижными осями колес.

К механизмам с неподвижными осями относятся ступенчатый ряд, паразитный (последовательный) ряд и их комбинации.

К механизмам с подвижными осями относятся дифференциальные механизмы, планетарные передачи, замкнутые дифференциальные механизмы.

## 1.2. Кинематический анализ зубчатых механизмов с неподвижными осями колес

**Ступенчатый ряд.** Ступенчатый ряд (рис. 7) характеризуется тем, что на каждой промежуточной оси располагается по два зубчатых колеса, причём каждое из колёс входит в одно зацепление с другим колесом. Общее передаточное отношение ступенчатой зубчатой передачи равно произведению передаточных отношений отдельных ступеней

$$u_{1n} = u_{12} \cdot u_{23} \cdot \dots \cdot u_{(n-1)n} = (-1)^m \frac{z_2 \cdot z_3 \cdot \dots \cdot z_n}{z_1 \cdot z_2' \cdot \dots \cdot z_{(n-1)'}}$$

где  $m$  – число внешних зацеплений.

Например, для ступенчатого ряда, представленного на рис. 7,

$$u_{14} = (-1)^2 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_2'} \cdot \frac{z_4}{z_3'}$$

**Паразитный (последовательный) ряд.** Паразитный ряд (рис. 8) является частным случаем ступенчатого ряда, когда на каждой промежуточной оси находится по одному паразитному колесу, входящему в два зацепления с другими. Паразитные колеса не влияют на величину передаточного отношения, но могут изменить его знак. Формула передаточного отношения для паразитного ряда имеет вид

$$u_{1n} = (-1)^m \frac{z_n}{z_1}$$

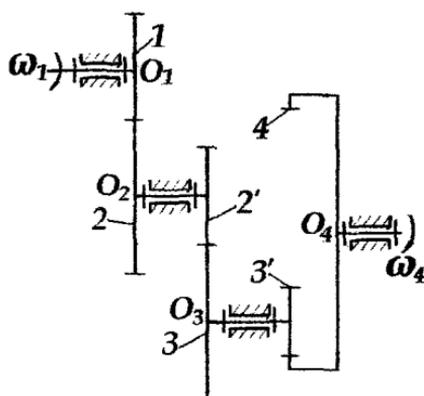


Рис. 7. Ступенчатый ряд

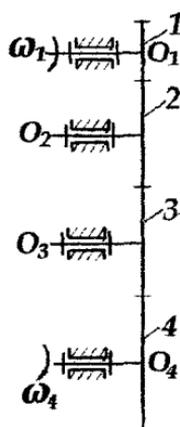


Рис. 8. Паразитный ряд

**Коробки передач.** Одним из распространенных типов зубчатых механизмов являются коробки передач (КП), предназначенные для ступенчатого изменения передаточного отношения от входного вала к выходному, что позволяет при неизменной угловой скорости

входного вала понижать или повышать выходную скорость. Изменение передаточного отношения достигается переключением различных ступеней зубчатых передач.

На рис. 9 представлена схема коробки передач, применяемой в приводе ведущих колес транспортного средства.

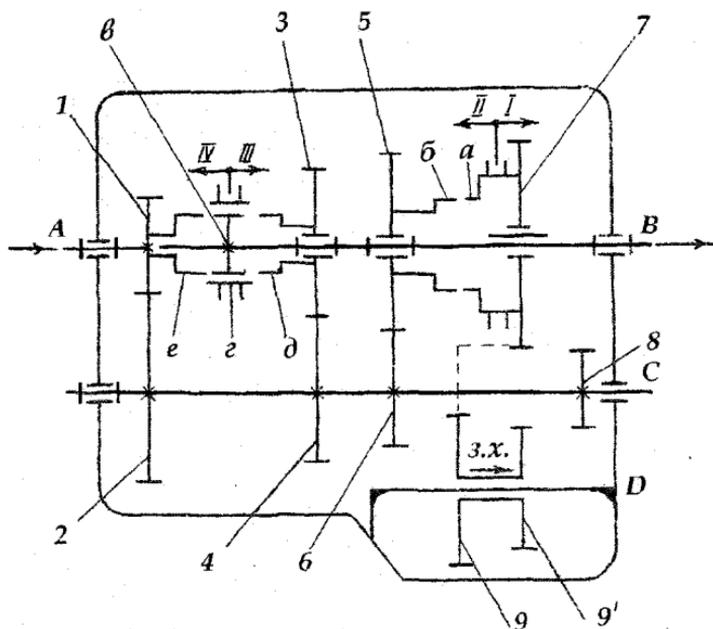


Рис. 9. Схема коробки передач

Основные элементы коробки передач, их вид и условные обозначения представлены в табл. 1 и 2.

Механизм коробки скоростей состоит из входного (первичного) вала *A*, соосно с ним расположенного выходного (вторичного) вала *B*, промежуточного вала *C* и оси заднего хода *D*. Передняя опора выходного вала расположена в проточке первичного вала (телескопическое соединение валов). На входном валу *A* жестко закреплено зубчатое колесо *1*, находящееся в постоянном зацеплении с колесом *2* промежуточного вала *C*. Все колеса (*2*, *4*, *6*, *8*), установленные на промежуточном валу, также закреплены на нем жестко, поэтому при вращении вала *A* они все приходят во вращение. Далее в зависимости от номера включаемой передачи вводится в зацепление та

или иная пара зубчатых колес, передающих вращение между валами *C* и *B*. На первой передаче (I) вращение от промежуточного на выходной вал передается парой зубчатых колес 8 и 7, на второй (II) – колесами 6 и 5, на третьей (III) – колесами 4 и 3. На четвертой передаче (IV) движение передается напрямую от входного на выходной вал путем их блокировки при помощи муфты. Передача заднего хода осуществляется парами колес 8-9' и 9-7. Таким образом, передаточные отношения коробки скоростей вычисляются по формулам:

– на первой передаче

$$u_I = u_{12} \cdot u_{87} = (-1)^2 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_7}{z_8};$$

– на второй передаче

$$u_{II} = u_{12} \cdot u_{65} = (-1)^2 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_5}{z_6};$$

– на третьей передаче

$$u_{III} = u_{12} \cdot u_{43} = (-1)^2 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_4};$$

– на четвертой передаче  $u_{IV} = 1$ ;

– на передаче заднего хода

$$u_{з.х.} = u_{12} \cdot u_{89'} \cdot u_{97} = (-1)^3 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_{9'}}{z_8} \cdot \frac{z_7}{z_9}.$$

*Включение отдельных передач достигается:*

1) введением в зацепление двух зубчатых колес путем осевого перемещения одного из них (например, колеса 7 и блока колес 9-9' при включении соответственно первой передачи и заднего хода); колеса, имеющие осевое перемещение вдоль выходного вала, соединены с ним при помощи шлицев или шпонки;

2) с помощью шлицевых муфт, блокирующих зубчатое колесо с валом. Так включают передачи II, III, IV, причем на второй передаче колесо 7 работает как элемент муфты, блокирующий колесо 5 с выходным валом. При неработающей передаче соответствующие

колеса на выходном валу вращаются свободно.

В рассматриваемой коробке скоростей первая и вторая передачи осуществляются путем осевого перемещения колеса 7, имеющего шлицевое соединение с валом *B*. Чтобы включить *первую передачу*, надо переместить колесо 7 вправо до зацепления его с колесом 8.

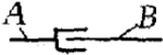
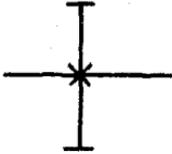
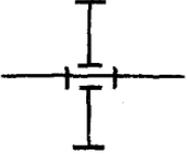
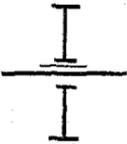
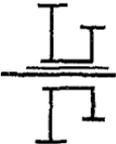
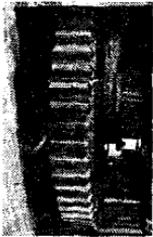
*Вторая передача* включается перемещением зубчатого колеса 7 влево до зацепления внутренних шлицев *a* полумуфты, расположенных на ступице этого колеса, с внешними шлицами *б*, расположенными на колесе 5. Движение от вала *C* к валу *B* передается через пару колес 6-5, шлицы муфты *a* и *б*, шлицевое соединение колеса 7 и вала *B*.

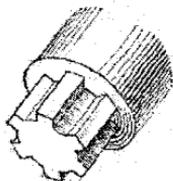
*Третья и четвертая (прямая) передачи* осуществляются при помощи двухсторонней шлицевой муфты, схема и макет которой показаны в табл. 2. *Третья передача* осуществляется перемещением подвижной части муфты (синхронизатора) *г* вправо до зацепления с наружными шлицами правой полумуфты *д*, жестко соединенной с колесом 3. При этом полумуфта *д* жестко соединяется с неподвижной ступицей *в*, а колесо 3 блокируется валом *B*. При включении *четвертой передачи* синхронизатор муфты *г* смещается влево до зацепления с наружными шлицами левой полумуфты *е*, жестко соединенной с колесом 1. При этом блокируются ступица *в* с полумуфтой *е* и, соответственно, валы *A* и *B*.

*Передача заднего хода* включается перемещением блока зубчатых колес 9 и 9' на оси *D* вправо. При этом в зацепление вступают колеса 8 и 9', 9 и 7. Тогда движение от вала *A* к валу *B* осуществляется последовательно через пары колес 1-2, 8-9', 9-7. В некоторых коробках передач колеса на оси заднего хода установлены жестко.

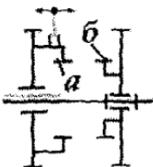
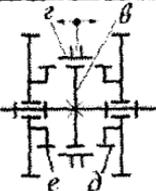
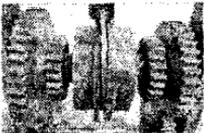
Коробки передач металлорежущих станков имеют более сложные и разнообразные конструкции, что позволяет получать большее количество различных передаточных отношений.

## Соединение валов и колес с валами

№ п/п	Наименование соединения	Условные обозначения и вид
1	Телескопическое со- единение входного и выходного валов	
2	Жесткое соединенис колеса с валом	
3	Свободное вращение колеса на валу (вра- щательная кинемати- ческая пара)	
4	Шлицевое или шпо- ночное соединение колеса <i>a</i> или блока колес <i>б</i> с валом	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p data-bbox="536 692 557 716"><i>a</i></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p data-bbox="806 692 826 716"><i>б</i></p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div>



## Муфты

№ п/п	Наименование	Условные обозначения и вид
1	Муфта одно- сторонняя	<p data-bbox="653 205 919 258">а – внутренние шлицы; б – наружные шлицы</p>    <p data-bbox="427 681 640 707">Муфта выключена</p> <p data-bbox="767 681 961 707">Муфта включена</p>
2	Муфта двух- сторонняя	<p data-bbox="560 757 1009 901">в – ступица с наружными шлицами; г – подвижная часть (синхронизатор) с внутренними шлицами; д и е – правая и левая полушлицы, жестко соединен- ные с зубчатым колесами</p>     <p data-bbox="391 1130 532 1183">нейтральное положение</p> <p data-bbox="615 1130 739 1183">включение влево</p> <p data-bbox="816 1130 940 1183">включение вправо</p>  <p data-bbox="570 1397 822 1450">вид муфты в реальной коробке передач</p>

### 1.3. Кинематический анализ зубчатых механизмов с подвижными осями колес

**Дифференциальные механизмы.** Дифференциальный механизм – механизм, в составе которого имеются звенья (сателлиты), оси которых подвижны, а степень подвижности  $W > 1$ . Дифференциальный механизм (рис. 10) содержит следующие звенья:

- а) сателлит 2, ось  $O_2$  которого подвижна;
- б) водило  $H$ , на котором установлен сателлит (или сателлиты);
- в) центральные колеса 1 и 3, находящиеся в контакте с сателлитами.

Водило  $H$ , а также соосные с ним центральные колеса 1 и 3 называются *основными звеньями*.

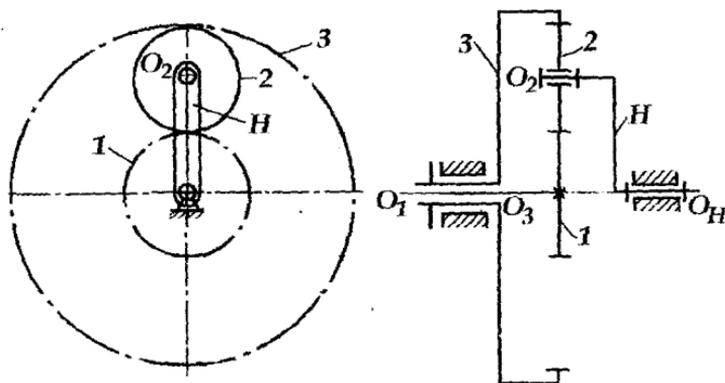


Рис. 10. Дифференциальный механизм

Степень подвижности механизма

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2.$$

Для кинематического анализа механизмов с подвижными осями применяется метод обращенного движения. Сущность метода состоит в том, что всем звеньям условно сообщается дополнительное вращение с общей угловой скоростью  $-\omega_H$ , равной угловой скорости водила  $\omega_H$ , но противоположно ей направленной.

Тогда угловые скорости звеньев обращенного механизма будут равны

$$\omega_1^H = \omega_1 - \omega_H,$$

$$\omega_3^H = \omega_3 - \omega_H,$$

$$\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H,$$

$$\omega_H^H = \omega_H - \omega_H = 0.$$

Поскольку угловая скорость водила в обратном движении равна нулю ( $\omega_H^H = 0$ ), то обратный механизм (рис. 11) является механизмом с неподвижными осями колёс, и для него можно записать передаточное отношение  $u_{13}^H$ , выражая его через числа зубьев по формулам для ступенчатого или паразитного рядов.

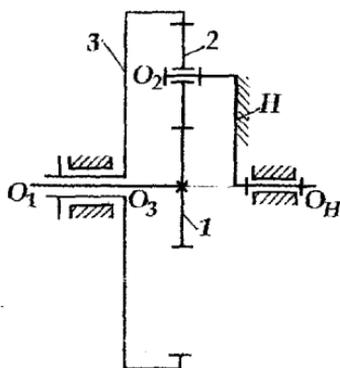


Рис. 11. Обратный механизм

Для рассматриваемой схемы

$$u_{13}^H = (-1)^1 \cdot \frac{z_3}{z_1} = -\frac{\omega_1^H}{\omega_3^H}.$$

Тогда

$$u_{13}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H}. \quad (1)$$

Данное выражение называется *формулой Виллиса для дифференциального механизма*. В общем виде

$$u_{KL}^H = \frac{\omega_K - \omega_H}{\omega_L - \omega_H}$$

**Планетарные механизмы.** Они являются частным случаем дифференциальных механизмов, когда одно из центральных колес заторможено, и степень подвижности механизма  $W = 1$ . На рис. 12 приведены примеры однорядных и двухрядных планетарных механизмов. Для них число степеней подвижности равно

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1.$$

В показанных планетарных механизмах колесо 3 неподвижно ( $\omega_3 = 0$ ), тогда, произведя преобразования в формуле (1) получаем формулу планетарного передаточного отношения

$$u_{1H} = 1 - u_{13}^H,$$

или в общем виде  $u_{KH} = 1 - u_{KL}^H$ ,

где  $K$  и  $L$  — соответственно номера подвижного и центрального неподвижного колеса.

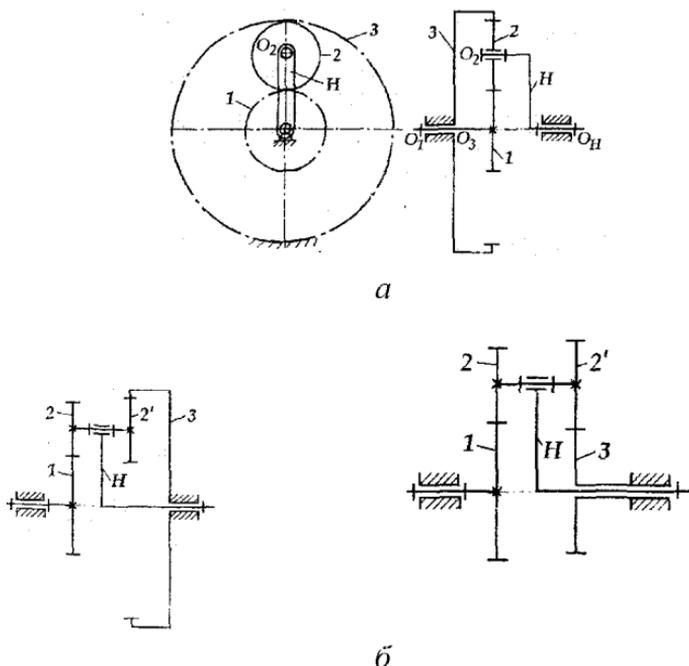


Рис. 12. Планетарные механизмы:

Если в планетарном механизме требуется определить передаточное отношение от водила  $H$  к какому-либо подвижному колесу  $K$ , то вначале следует определить передаточное отношение от этого колеса к водилу  $u_{KH}$ , а затем вычислить обратную величину

$$u_{HK} = \frac{1}{u_{KH}}.$$

**Замкнутые дифференциальные механизмы.** Они образуются в том случае, если в дифференциальном механизме (рис. 13) два основных звена (например, колесо 3 и водило  $H$ ) соединить дополнительной замыкающей кинематической цепью 3'-4-4'-5. Замыкающая цепь налагает на движение звеньев дополнительное условие связи. Тогда степень подвижности механизма станет равна

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 4 = 1.$$

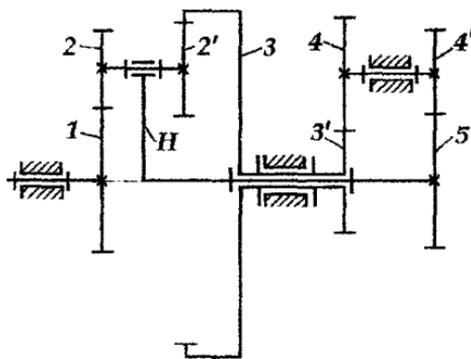


Рис. 13. Замкнутый дифференциальный механизм

При исследовании механизмов, состоящих из последовательно соединенных ступеней с неподвижными и подвижными осями колес, общее передаточное отношение определяется как произведение передаточных отношений отдельных ступеней, определяемых по соответствующим формулам.

## 2. Лабораторная работа «Составление схем и кинематический анализ зубчатых механизмов»

**Цель работы** – овладение навыками составления схем и определения передаточных отношений зубчатых механизмов.

Отчет по лабораторной работе составляется студентом на основе рассмотренных зубчатых механизмов и материалов, изложенных в п. 1 данного пособия.

Студенту для выполнения лабораторной работы даются 2 механизма. Первый механизм – механизм с неподвижными осями колес (коробка передач), второй – механизм, в составе которого имеется планетарная передача.

**Механизм с неподвижными осями (коробка передач).** Требуется составить кинематическую схему коробки передач и определить передаточные отношения для двух передач. На кинематической схеме коробка передач изображается в *нейтральном положении*, когда вращение от промежуточного вала на выходной не передается.

При этом необходимо проделать следующее:

1) определить и изобразить место сочленения входного и выходного валов, расположенных на одной геометрической оси. Для этого, установив рычаг переключения передач в нейтральное положение, повернуть выходной вал, придерживая рукой входной вал. Граница между вращающимися звеньями выходного вала и неподвижным входным обозначит место сочленения валов;

2) изобразить на схеме промежуточный вал и пару колес, с помощью которых передается вращение с входного вала на промежуточный и способ их закрепления;

3) определить, как закреплены на промежуточном валу остальные колеса и изобразить их на схеме, соблюдая пропорции диаметров колес и их положение на валу;

4) установить виды соединений зубчатых колес на выходном валу, для чего вращать входной вал, придерживая выходной; колеса, которые находятся в зацеплении с колесами промежуточного вала и вращаются, установлены свободно (вращательные кинематические пары); очевидно, что для передачи вращения с них на выходной вал потребуются муфты; изобразить данные колеса на схеме;

5) поворачивать выходной вал, придерживая входной; колеса, вращающиеся вместе с выходным валом, имеют с ним шлицевое со-

единение. Убедиться в этом можно, обнаружив движение колеса вдоль вала при переключении передач. Изобразить эти колеса на схеме. Зубчатые венцы колес, совершающих осевое перемещение, на схеме показать на уровне венцов колес на соседних валах, с которыми они входят в зацепление;

6) определить, с помощью каких муфт соединяются с выходным валом колеса, образующие с ним вращательную пару. Обратить внимание на возможность включения посредством муфты прямой передачи между входным и выходным валами. Изобразить муфты на схеме коробки;

7) определить, как закреплены колеса на оси заднего хода, и какие перемещения они совершают; изобразить ось заднего хода и установленные на ней зубчатые колеса. Так как ось на схеме условно вынесена в плоскость выходного и промежуточного валов, зацепление колес на ней и на выходном валу показать штриховой линией;

8) пронумеровать все зубчатые колеса и подсчитать числа зубьев колес, передающих движение от входного к выходному валу для заданных преподавателем передач;

9) показать на схеме подшипники и корпус КП;

10) вычислить требуемые передаточные отношения;

11) выполнить проверку расчета передаточных отношений, определив количество оборотов входного вала за один оборот выходного. Для этого вращать входной вал, подсчитывая число оборотов его, соответствующее одному обороту выходного вала.

**Механизм с планетарной ступенью.** Требуется составить кинематическую схему механизма и определить передаточное отношение от входного звена к выходному.

Работу выполнить в следующем порядке.

1. Повращать входное звено и установить характер движения звеньев (неподвижные колеса, наличие водила, сателлитов и центральных колес). Изобразить все звенья на схеме механизма.

2. Пронумеровать звенья и подсчитать числа зубьев колес.

3. Выделить в механизме ступени передачи вращения и записать формулу общего передаточного отношения.

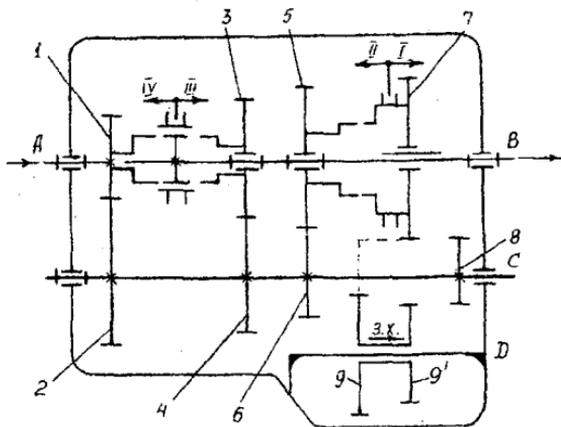
4. По соответствующим формулам определить передаточное отношение для каждой ступени в направлении передачи вращения. Определить общее передаточное отношение механизма, как произведение полученных отношений.

5. Выполнить проверку расчета передаточных отношений, определив количество оборотов входного вала за один оборот выходного. Для этого вращать входной вал, подсчитывая число оборотов его, соответствующее одному обороту выходного вала.

**О Т Ч Е Т**  
о лабораторной работе № 4  
**«СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ»**

Студент \_\_\_\_\_ № группы \_\_\_\_\_ факультет \_\_\_\_\_  
дата \_\_\_\_\_

*Кинематическая схема коробки передач*



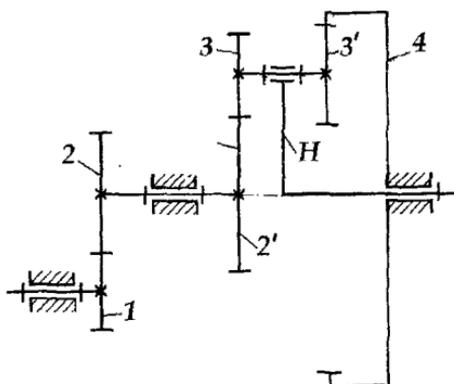
Номера колес	1	2	7	8	9	9'
Число зубьев	17	40	42	15	19	22

Расчет передаточных отношений

$$u_1 = u_{12} \cdot u_{87} = (-1)^2 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_7}{z_8} = (-1)^2 \cdot \frac{40}{17} \cdot \frac{42}{15} = 6,6;$$

$$u_{3.x.} = u_{12} \cdot u_{89'} \cdot u_{97} = (-1)^3 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_{9'}}{z_8} \cdot \frac{z_7}{z_9} = (-1)^3 \cdot \frac{40}{17} \cdot \frac{22}{15} \cdot \frac{42}{19} = -7,6$$

**Проверка.** На первой передаче один оборот выходного вала происходит за 6,6 оборотов входного вала, а на передаче заднего хода – за -7,6 оборотов входного вала.



Номера колес	1	2	2'	3	3'	4
Число зубьев	20	40	30	20	40	30

Расчет передаточного отношения от колеса 1 к водилу H

$$u_{1H} = u_{12} \cdot u_{2'H};$$

$$u_{12} = (-1)^1 \frac{z_2}{z_1} = -\frac{40}{20} = -2;$$

$$u_{2'H} = 1 - u_{2'4}^H = 1 - (-1)^1 \frac{z_3}{z_2'} \cdot \frac{z_4}{z_3'} = 1 + \frac{20 \cdot 30}{30 \cdot 40} = 1,5;$$

$$u_{1H} = u_{12} \cdot u_{2'H} = (-2) \cdot 1,5 = -3;$$

Передаточное отношение от водила к колесу 1

$$u_{H1} = \frac{1}{u_{1H}} = \frac{1}{-3} = -0,333.$$

**Проверка.** 1 оборот водила H происходит за  $-3$  оборота входного колеса 1.

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_

### 3. Контрольные вопросы

1. Назовите типы плоских и пространственных зубчатых передач в зависимости от расположения осей вращения колес и изобразите их схемы.
2. Что такое передаточное отношение механизма?
3. Как определяется знак передаточного отношения?
4. Составьте схему ступенчатого ряда и запишите для него формулу передаточного отношения.
5. Составьте схему паразитного ряда и запишите для него формулу передаточного отношения.
6. Как определить величину и знак передаточного отношения ступенчатого и паразитного рядов?
7. Для чего предназначены коробки передач?
8. Изобразите схему односторонней муфты.
9. Изобразите схему двухсторонней муфты.
10. Перечислите типы и охарактеризуйте отличительные признаки зубчатых механизмов с подвижными осями.
11. Изобразите схему планетарного механизма. Укажите названия звеньев механизмов.
12. Запишите формулу планетарного передаточного отношения (от любого подвижного колеса к водилу).
13. Как определяется передаточное отношение от водила к любому подвижному колесу планетарной передачи?
14. Составьте схему дифференциального механизма и назовите звенья, входящие в него.
15. Запишите формулу Виллиса для дифференциального механизма.
16. Охарактеризуйте метод обращенного движения.

#### 4. Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов / И.И. Артоболевский. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1967. – 720 с.
2. Акулич, В.К. Зубчатые передачи. Текст лекций / В.К. Акулич, Н.И. Мицкевич, О.Н. Цитович. – Минск: БПИ, 1973. – 95 с.
3. Лабораторные работы по теории механизмов и машин / Е.А. Камцев [и др.]; под общей редакцией Е.А. Камцева. – Минск: Высшая школа, 1976. – 174 с.
4. Теория механизмов и механика машин / К. В. Фролов [и др.]; под редакцией К. В. Фролова. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 2005. – 496 с.
4. Юдин, В. А. Теория механизмов и машин / В.А. Юдин, Л. В. Петрокас. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 527 с.

Учебное издание

АНЦИПОРОВИЧ Петр Петрович  
АВСИЕВИЧ Андрей Михайлович  
ДВОРЯНЧИКОВА Алла Борисовна  
НИКОЛАЕВ Вадим Анатольевич

## КИНЕМАТИКА ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине «Теория механизмов, машин  
и манипуляторов»

---

Подписано в печать 02.02.2011.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,18. Тираж 300. Заказ 97.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.