

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева»

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания к лабораторной работе

Самара 2007

Составители: Куликов Б.А., Коробова Н.П., Журавлев В.И.

УДК 621.831

Кинематический анализ зубчатых механизмов: метод. указания к лаб. работе / Сост. Куликов Б.А., Коробова Н.П., Журавлев В.И. – Самара, Самар. гос. аэрокосм. ун-т 2007. – 10 с.

Методические указания содержат вопросы кинематики планетарных и дифференциальных механизмов.

Рекомендуется студентам инженерно-технических специальностей вуза при изучении курсов "Теория механизмов и машин" и "Прикладная механика."

Подготовлены на кафедре основ конструирования машин.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент: Н.Д. Проничев

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Зубчатые механизмы служат для передачи вращательного движения от одного вала к другому, для изменения величины и направления угловой скорости и крутящего момента.

В зубчатых передачах различают *внешнее* (рис. 1, а), *внутреннее* (рис. 1, б) и *реечное зацепления* (рис. 1, в): звено 1 – шестерня, 2 – колесо (или частный случай колеса – рейка).

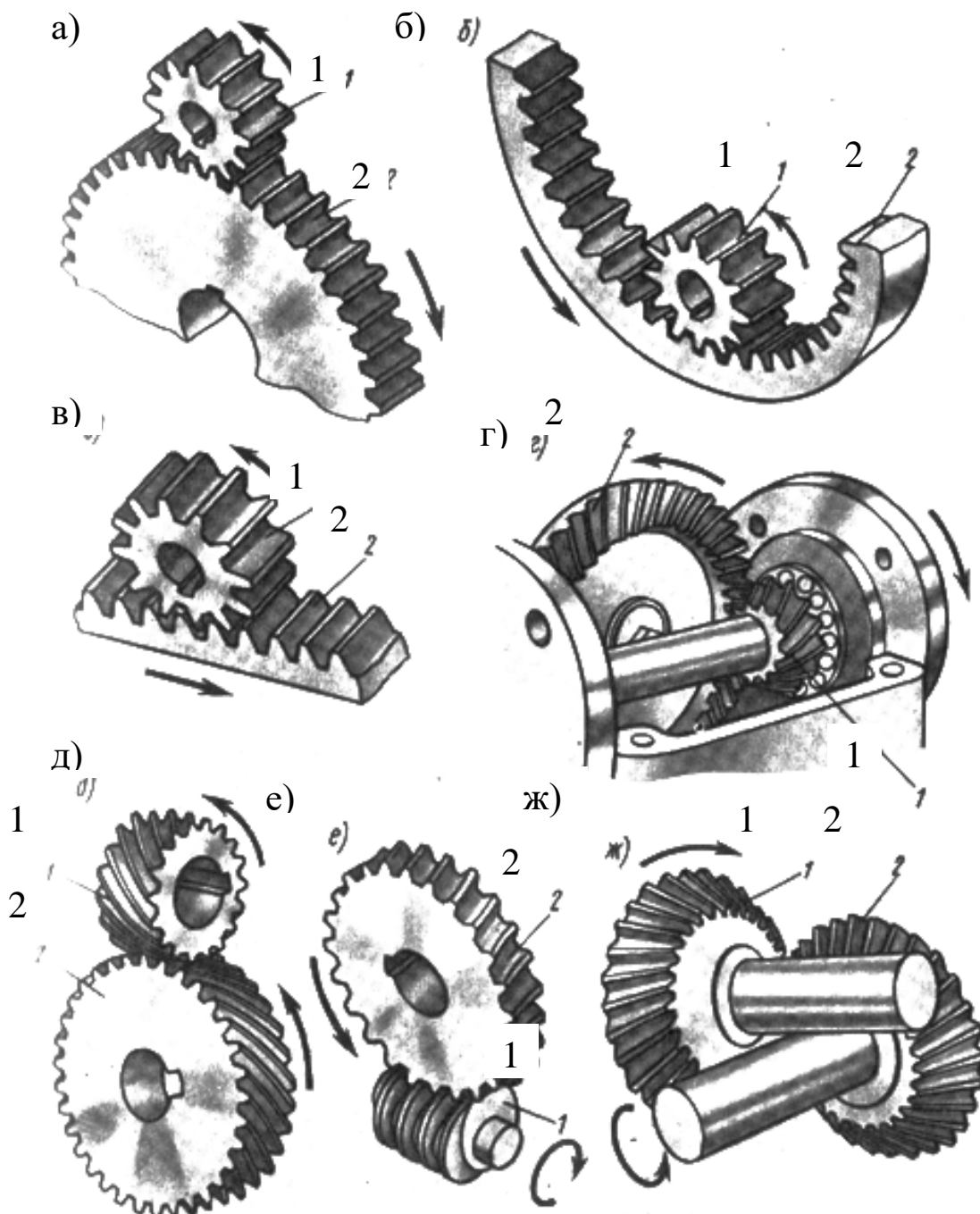


Рисунок 1

В зависимости от расположения осей колес зубчатые передачи могут быть с *параллельными осями (цилиндрические)* (рис. 1, а,б), с *пересекающимися осями (конические)* (рис. 1, г) и со *скрецающимися осями* или гиперболоидные, вариантами которых являются *винтовые* (рис. 1, д), *червячные* (рис. 1, е) и *гипоидные* (рис. 1, ж) передачи. В винтовой передаче звенья 1, 2 – косозубые цилиндрические колеса; в червячной передаче звено 1 – червяк, 2 – червячное колесо; в гипоидной передаче звенья 1, 2 – конические колеса.

По относительному расположению валов различают плоские и пространственные зубчатые передачи. В *плоских механизмах* оси вращения звеньев параллельны и все звенья вращаются в параллельных плоскостях. В этом случае передача вращения с постоянным передаточным отношением осуществляется с помощью круглых цилиндрических колес (рис. 2).

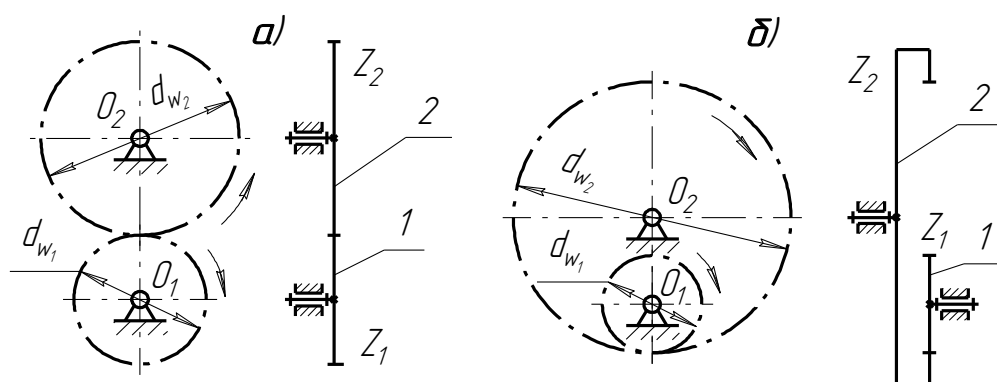


Рисунок 2.2

В *пространственных передачах* оси вращения звеньев пересекаются (конические передачи) или скрецаются (червячные, винтовые, спиральные и гипоидные передачи).

Отношение угловой скорости ведущего вала j к угловой скорости ведомого вала k называется передаточным отношением и обозначается буквой « i » с соответствующими индексами:

$$i_{jk} = \frac{\omega_j}{\omega_k}; \quad i_{kj} = \frac{\omega_k}{\omega_j} = \frac{1}{i_{jk}}.$$

Для механизма, изображенного на рис. 2

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm \frac{d_{w2}}{d_{w1}} = \pm \frac{z_2}{z_1}.$$

Знак плюс относится к внутреннему зацеплению, а *знак минус* – к внешнему.

Для получения больших передаточных отношений используют более сложные многоступенчатые зубчатые механизмы.

Ступенью зубчатого механизма называется передача между двумя звеньями, расположенными на ближайших неподвижных осях. Число ступеней в зубчатых механизмах равно числу неподвижных осей без единицы.

Ступени бывают *простые* и *планетарные*. На рис. 3 А и С – простые, В – планетарная ступени.

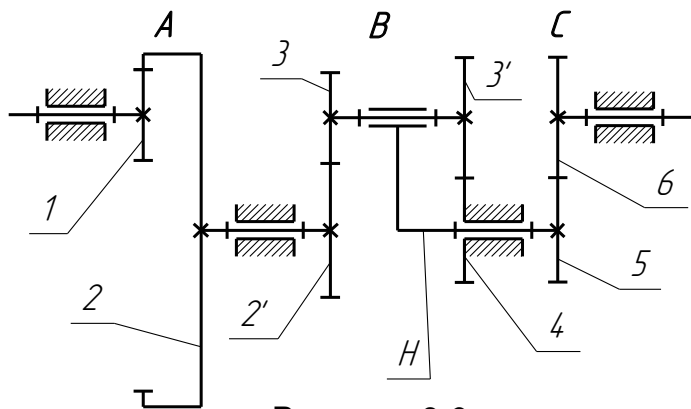


Рисунок 2.3

Если скорость вращения ведомого вала меньше скорости вращения ведущего, то такой механизм называется *редуктором*. Редуктор может быть обращен в ускоритель (*мультипликатор*), если в нем ведущий вал сделать ведомым.

В многоступенчатом редукторе полное передаточное отношение равно произведению передаточных отношений ступеней, входящих в редуктор. Для схемы редуктора на рис. 3 полное передаточное отношение

$$i_{16} = i_{12} \cdot i_{2'H}^{(4)} \cdot i_{56}.$$

Зубчатые механизмы с неподвижными относительно стойки осями колес делятся на *рядовые* и *ступенчатые*. В рядовых механизмах (рис. 4) на каждой оси насажено по одному колесу. Для него

$$i_{14} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} = \left(-\frac{z_2}{z_1} \right) \left(-\frac{z_3}{z_2} \right) \left(-\frac{z_4}{z_3} \right) = -\frac{z_4}{z_1} = (-1)^t \frac{z_4}{z_1}, \text{ или}$$

$$i_{14} = (-1)^t \frac{z_4}{z_1},$$

где t – число передач внешнего зацепления.

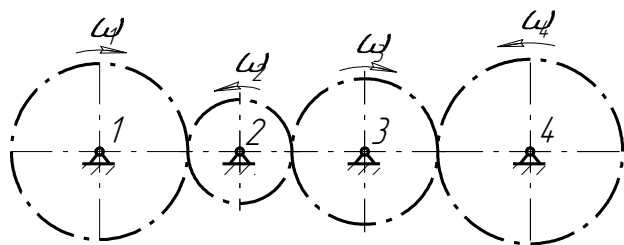


Рисунок 2.4

В ступенчатых механизмах на каждой оси, кроме ведущей и ведомой, насажено по два колеса. На рис. 5 приведена схема трехступенчатого механизма. Для него

$$i_{14} = i_{12} \cdot i_{2'3} \cdot i_{3'4} = \left(-\frac{z_2}{z_1} \right) \left(-\frac{z_3}{z_{2'}} \right) \frac{z_4}{z_{3'}} = \frac{30}{20} \frac{30}{20} \frac{80}{20} = 9.$$

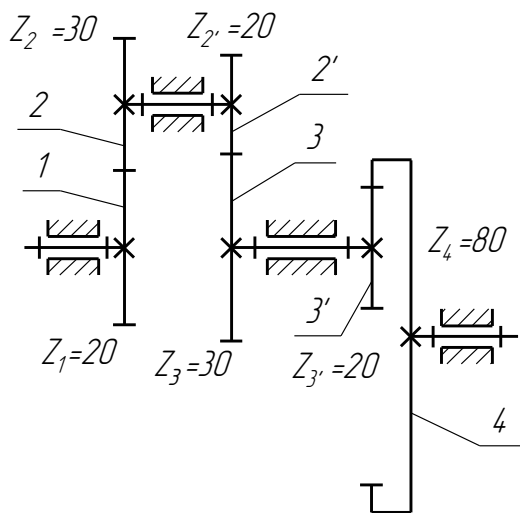


Рисунок 2.5

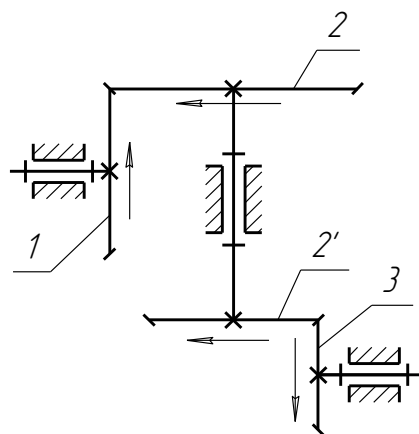


Рисунок 2.6

При передаче вращения коническими колесами знак передаточного отношения определяется *правилом стрелок* (рис. 6). Если стрелки на ведущем и ведомом колесах, расположенных на параллельных валах, направлены в одну сторону, то передаточное отношение будет со знаком плюс, если в противоположные стороны, то со знаком минус. Для механизма, изображенного на рис 2.6

$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{2'3} = -\left(\frac{z_2}{z_1} \frac{z_3}{z_{2'}} \right).$$

Зубчатые механизмы, имеющие колеса, оси которых перемещаются

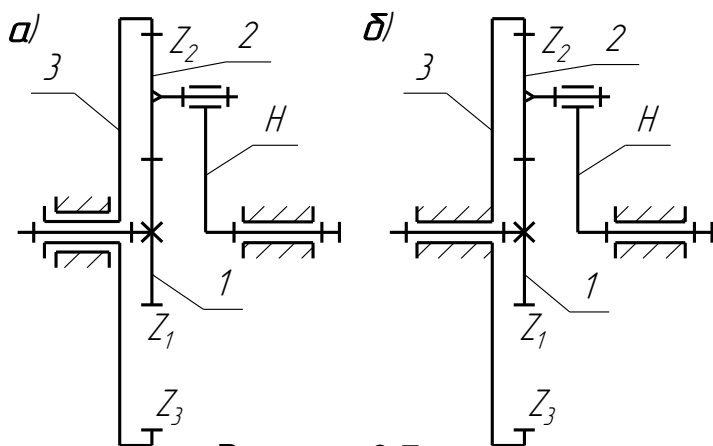


Рисунок 2.7

в пространстве, называются *сателлитными* (рис. 7, а). Колеса 1 и 3, вращающиеся вокруг неподвижной центральной оси, называются *центрными*, а колесо 2, ось которого перемещается в пространстве, называется *сателлитом*. Звено Н, в котором закреплена ось сателлита 2, называется *водилом*.

Сателлитные механизмы с двумя и более степенями свободы называются *дифференциальными*, а с одной степенью свободы – *планетарными*.

Зависимость между угловыми скоростями звеньев может быть определена при помощи *метода обращения движения*. Суть его заключается в том, что всем звеньям механизма сообщается дополнительное вращение с угловой скоростью, равной по величине угловой скорости вращения водила, но противоположной по направлению ($-\omega_H$). При этом водило мысленно останавливается и дифференциальный механизм превращается в обращенный, в котором оси всех колес неподвижны. Новые угловые скорости звеньев в обращенном движении равны $\omega_1 - \omega_H$; $\omega_2 - \omega_H$; $\omega_3 - \omega_H$; $\omega_H - \omega_H = 0$.

Передаточное отношение от первого звена к третьему для обращенного механизма имеет вид

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

Формула (2.4) называется формулой Виллиса, где для конкретного механизма (рис. 2.7, а) $i_{13}^{(H)} = -\frac{z_3}{z_1}$.

Задаваясь двумя скоростями, по формуле (1) можно определить третью скорость.

Заметим, что формулу Виллиса можно записать для любых двух звеньев. Например, по формуле

$$i_{23}^{(1)} = \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} \quad (2)$$

можно определить угловую скорость сателлита ω_2 при известных скоростях ω_3 и ω_H .

Формулу для передаточного отношения планетарного механизма (рис. 7, б) можно получить из формулы (1), если принять в ней $\omega_3 = 0$. После преобразования получим

$$i_{1H}^{(3)} = 1 - i_{13}^{(H)}.$$

Передаточное отношение от водила H к колесу 1 определяется по формуле

$$i_{H1}^{(3)} = \frac{1}{i_{1H}^{(3)}} = \frac{1}{1 - i_{13}^{(H)}}.$$

Для определения абсолютной угловой скорости сателлита целесообразно воспользоваться формулой (2):

$$i_{23}^{(H)} = \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{z_3}{z_2}. \text{ Так как } \omega_3 = 0, \text{ то } 1 - \frac{\omega_2}{\omega_H} = \frac{z_3}{z_2}.$$

В некоторых случаях целесообразно использовать *комбинированные зубчатые механизмы*, составленные из передач разных типов. Например, механизм, показанный на рис. 3, имеет две простые ступени и одну планетарную. Передаточное отношение всего механизма

$$i_{16} = i_{12} \cdot i_{2'H}^{(4)} \cdot i_{56} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right) \left(1 - \frac{z_3 z_4}{z_2' z_3'} \right) \left(- \frac{z_6}{z_5} \right).$$

В машиностроении применяется *замкнутый дифференциальный механизм*, имеющий одну степень подвижности (рис. 8). В этом механизме между звеньями дифференциала и центральным колесом устанавливается промежуточная простая зубчатая передача.

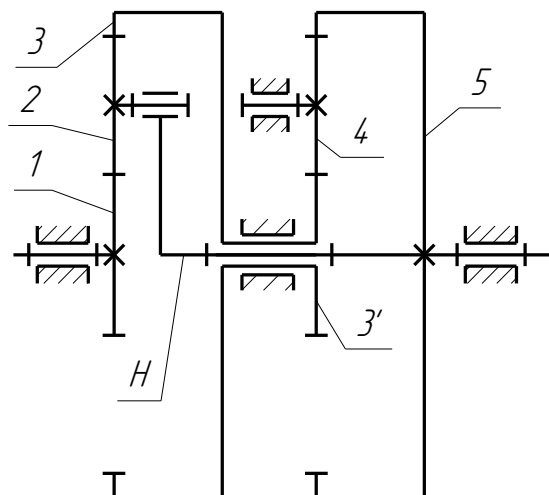


Рисунок 2.8

Водило Н жестко связано с колесом 5 ($\omega_H = \omega_5$). С ведущего колеса 1 на ведомое колесо 5 движение передается двумя путями: первым – через сателлит 2 и водило Н, вторым – через сателлит 2, колеса 3, 3', 4. Обычно в такой схеме $z_1 = z_{3'}$, $z_2 = z_4$, $z_3 = z_5$. Передаточное отношение

определяется по формуле Виллиса и будет равно

$$i_{15} = 1 + \frac{z_3}{z_1} + \frac{z_3}{z_1} \frac{z_5}{z_3'} = 1 + \frac{z_3}{z_1} + \left(\frac{z_3}{z_1} \right)^2.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с механизмом.
2. Составить структурную схему и пронумеровать все звенья, начиная с ведущего.
3. Определить степень свободы механизма.
4. Разбить механизм по ступеням и определить передаточное отношение каждой ступени.
5. Вычислить передаточное отношение механизма.
6. Подсчитать число оборотов ведомого вала, если частота вращения ведущего вала $\omega_1 = 100 \text{ с}^{-1}$.
7. Оформить отчет.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование механизма. Кинематическая схема.
2. Определение степени свободы механизма W .
3. Подсчет чисел зубьев колес.
4. Определение передаточных отношений ступеней и всего механизма.
5. Вывод формул для определения угловых скоростей звеньев $\omega_i = f(\omega_1)$.
6. Подсчет угловых скоростей звеньев при $\omega_1 = 100 \text{ с}^{-1}$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель применения зубчатых механизмов?
2. Какие механизмы используют для передачи вращения между параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями?
3. Как определить степень подвижности зубчатого механизма?
4. Как определить передаточное отношение планетарного механизма с неподвижными осями колес?
5. Выразить угловую скорость сателлита через угловую скорость ведущего звена.
6. Какова цель применения метода обращения движения при кинематическом анализе планетарных передач?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов. – М.: Наука, 1988, – 640 с..
2. Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов / Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 2003. – 496 с.

У ч е б н о е и з д а н и е

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания

Составители: Куликов Борис Александрович;
Коробова Нинель Петровна;
Журавлев Валентин Иванович

«Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева»
443086 Самара, Московское шоссе, 34.