

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра деталей машин и прикладной механики

А.А. Муллабаев, Н.В. Зурнаджан, Э.А. Зурнаджан

СТРУКТУРНЫЙ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по направлениям подготовки 280700.62 Техносферная безопасность, 151000.62 Технологические машины и оборудование, 151600.62 Прикладная механика, 190600.62 Эксплуатация транспортных технологических машин и комплексов, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика и по специальности 190109.65 Наземные транспортно-технологические средства.

Оренбург
2013

УДК 621.01(076)
ББК 34 41 Я 7
М 90

Рецензент – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов А.Н. Поляков

Муллабаев, А.А.

М90 Структурный и кинематический анализ планетарных механизмов: методические указания / А.А. Муллабаев, Н.В. Зурнаджан, Э.А. Зурнаджан; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013.- 16с.

Основное содержание: цель работы; оборудование; порядок выполнения работы; теоретическая часть; контрольные вопросы; приложение.

Методические указания по курсу «Теория механизмов и машин» предназначены для студентов направления подготовки
280700.62 Техносферная безопасность, 151000.62 Технологические машины и оборудование, 151600.62 Прикладная механика, 190600.62 Эксплуатация транспортных технологических машин и комплексов, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика и по специальности 190109.65 Наземные транспортно-технологические средства. Всех форм обучения.

УДК 621.01.076
ББК 34. 41 Я 7

© Ефанов А.М.,
Зурнаджан Н.В.,
Романцов В.Н., 2013
© ОГУ, 2013

Содержание

Лабораторная работа № 4. Структурный и кинематический анализ планетарных механизмов	4
1 Цель работы	4
2 Оборудование	4
3 Порядок выполнения работы	4
4 Теоретическая часть	5
5 Контрольные вопросы	13
Список использованных источников	14
Приложение А (обязательное)	15

Лабораторная работа № 4. Структурный и кинематический анализ планетарных механизмов

1 Цель работы

Уяснение принципа работы планетарных механизмов и методики их кинематического расчёта.

2 Оборудование

Для выполнения работы необходимы: реальные механизмы или их модели, чертежные инструменты.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомиться с теоретической частью настоящих методических указаний.

3.2 Ознакомиться с планетарным механизмом: определить число и название звеньев, тип механизма и его назначение. Вычертить структурную схему механизма.

3.3 Определить числа зубьев всех шестерен (таблица 1).

3.4 Замерить при помощи линейки диаметры делительных окружностей всех шестерен.

3.5 Вычислить модули зацепления и округлить их до стандартного значения. По стандартным модулям зацеплений уточнить диаметры делительных окружностей.

3.6 Подсчитать число кинематических пар, определить подвижность, класс и вид движения.

3.7 Определить степень подвижности механизма по формуле А.П. Малышева.

3.8 Выбрать масштабный коэффициент μ_l , (м/мм) и определить размеры звеньев на чертеже.

3.9 По вычисленным размерам вычертить кинематическую схему механизма.

3.10 Вычертить план линейных скоростей (картину скоростей)

3.11 Вычертить план угловых скоростей.

3.12 Вычислить масштаб линейных скоростей

3.13 Вычислить масштаб плана угловых скоростей.

3.14 Аналитическим методом определить угловые скорости шестерен (таблица 2), предварительно вычислив передаточное отношение планетарного редуктора.

3.15 Графически определить угловые скорости шестерен.

3.16 Вычислить расхождение аналитических и графических угловых скоростей в (%).

4 Теоретическая часть

Планетарными называются зубчатые механизмы, где геометрические оси некоторых шестерен являются подвижными. Примером такого механизма может служить механизм, показанный на рисунке 1.

В этом механизме шестерни z_1, z_3, z_4, z_5 имеют неподвижные геометрические оси вращения, а шестерни z_2, z_2' – подвижную ось вращения и называются сателлитами. Шестерни z_1, z_3 , называются центральными. Звено H , контактирующее с подвижными осями, называется водилом.

Если на рисунке 1 растормозить колесо z_3 , то механизм будет иметь две степени подвижности, т.е., $W = 2$. Механизмы с $W \geq 2$ называются дифференциальными.

Степень подвижности планетарного и дифференциального механизмов вычисляется по формуле А.П. Малышева:

$$W = 3n - 2P_1 - P_2$$

где n – число подвижных звеньев,

P_1 - число одноподвижных кинематических пар (5 кл.);

P_2 - число двухподвижных кинематических пар (4кл.)

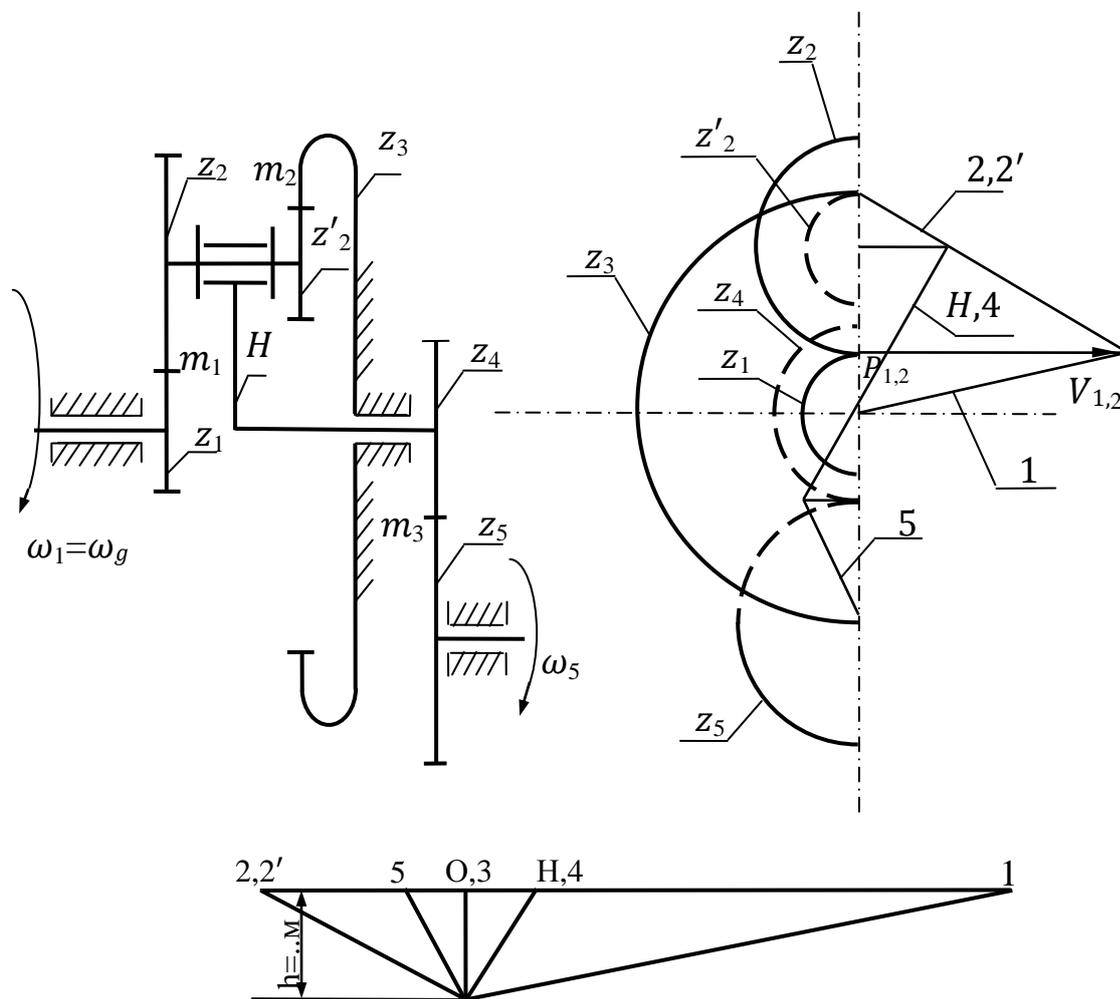


Рисунок 1 – Определение линейных и угловых скоростей звеньев планетарного редуктора

При вычислении числа подвижных звеньев учитывать только одну пару сателлитов и остальные подвижные звенья.

Одноподвижными кинематическими парами в зубчатом механизме являются вращательные кинематические пары, а двухподвижными - связи между зубьями двух шестерен.

Угловые скорости звеньев дифференциального и планетарного механизмов подчиняются формуле Виллиса:

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

где $i_{13}^H = \frac{\omega_1}{\omega_3}$ при $\omega_H = 0$ - передаточное отношение при передаче движения от шестерни z_1 к шестерне z_3 при неподвижном водиле H . При одинаковых направлениях вращений колес z_1 и z_3 , передаточное отношение i_{13}^H имеет знак плюс, при разных направлениях - минус.

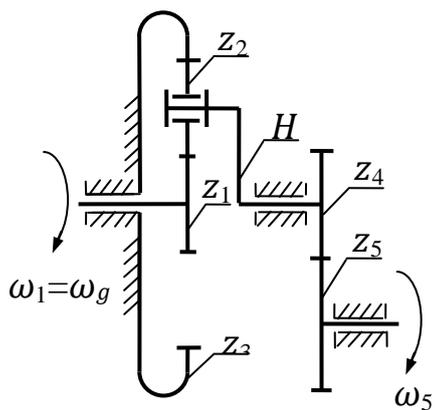
Зубчатая пара с внешним зацеплением меняет направление вращения. Значение i_{13} можно выражать через соотношение чисел зубьев. Например, для механизма по рисунку 1 можно записать:

$$i_{13}^H = (-1)^j \frac{z_3}{z_2'} \cdot \frac{z_2}{z_1} \quad (2)$$

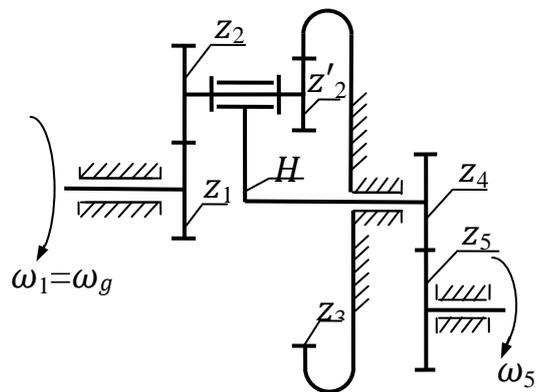
где $j = 1$ - число передач с внешним зацеплением.

Уравнения (1) и (2) справедливы для всех типов планетарных редукторов. Но в каждом конкретном типе планетарного механизма будет заторможено то или иное колесо. Число j - для каждого типа планетарного механизма будет свое. Например, в механизме 2 типа (рисунок 2) $\omega_3 = 0$, $j = 1$. Кроме того, в механизме 1 типа $z_2' = z_2$ и два колеса совпадают.

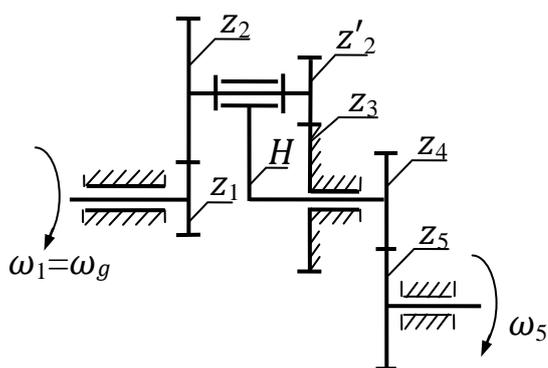
Тип 1



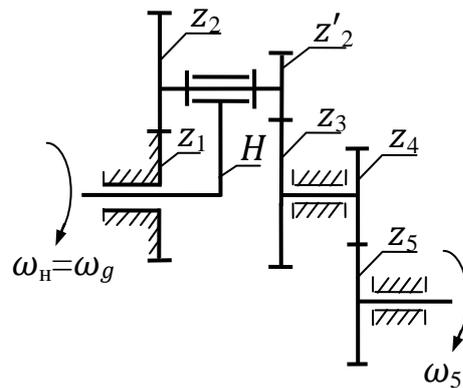
Тип 2



Тип 3



Тип 4



Тип 5

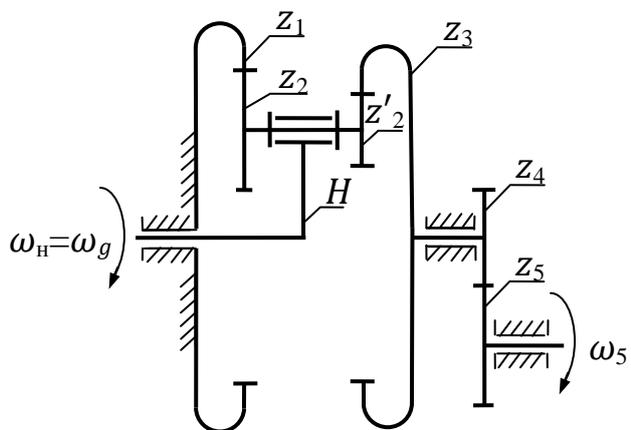


Рисунок 2 – Схемы планетарных редукторов

Из уравнений (1) и (2) можно определить передаточное отношение планетарного редуктора. Для механизмов по рисунку 2 передаточные отношения получаются равными:

$$\begin{aligned}
 \text{Тип 1} \quad i_{пл} &= i_{1н}^3 = 1 - (-1)^1 \frac{z_3}{z_1} ; \\
 \text{Тип 2} \quad i_{пл} &= i_{1н}^3 = 1 - (-1)^1 \frac{z_3 z_2}{z_2' z_1} ; \\
 \text{Тип 3} \quad i_{пл} &= i_{1н}^3 = 1 - (-1)^2 \frac{z_3 z_2}{z_2' z_1} ; \\
 \text{Тип 4} \quad i_{пл} &= i_{н3}^1 = \frac{1}{1 - (-1)^2 \frac{z_1 z_2'}{z_2 z_3}} ; \\
 \text{Тип 5} \quad i_{пл} &= i_{н3}^1 = \frac{1}{1 - (-1)^0 \frac{z_1 z_2'}{z_2 z_3}} ;
 \end{aligned} \tag{3}$$

После определения передаточного отношения $i_{пл}$ можно определить угловые скорости всех колес. Сателлиты совершают сложное плоскопараллельное движение. Угловую скорость сателлитов можно определить делением относительной скорости двух точек на расстояние между этими точками. Тогда для механизмов по рисунку 2 можно получить формулы:

$$\begin{aligned}
 \text{Тип 1} \\
 \omega_1 = \omega_g; \quad \omega_2 = -\omega_1 \frac{z_1}{2 z_2} ; \quad \omega_3 = 0; \\
 \omega_4 = \omega_n = \frac{\omega_1}{i_{пл}} ; \quad \omega_5 = \omega_4 \left(\frac{-z_4}{z_5} \right); \\
 \text{Тип 2} \\
 \omega_1 = \omega_g; \quad \omega_2 = \omega_2' = -\omega_1 \frac{z_1}{z_2 + z_2'} ; \quad \omega_3 = 0; \\
 \omega_4 = \omega_n = \frac{\omega_1}{i_{пл}} ; \quad \omega_5 = \omega_4 \left(-\frac{z_4}{z_5} \right). \\
 \text{Тип 3} \\
 \omega_1 = \omega_g; \quad \omega_2 = \omega_2' = -\omega_1 \frac{z_1}{z_2 - z_2'} ; \quad \omega_3 = 0; \\
 \omega_4 = \omega_n = \frac{\omega_1}{i_{пл}} ; \quad \omega_5 = \omega_n \left(-\frac{z_4}{z_5} \right).
 \end{aligned} \tag{4}$$

Тип 4

$$\omega_1 = 0; \quad \omega_H = \omega_g; \quad \omega_2 = \omega'_2 = \omega_H \frac{z_1 + z_2}{z_2};$$

$$\omega_3 = \omega_4 = \frac{\omega_H}{i_{пл}}; \quad \omega_5 = \omega_4 \left(-\frac{z_4}{z_5} \right).$$

Тип 5

$$\omega_1 = 0; \quad \omega_H = \omega_g; \quad \omega_2 = \omega'_2 = -\omega_H \frac{z_1 - z_2}{z_2};$$

$$\omega_3 = \omega_4 = \frac{\omega_H}{i_{пл}}; \quad \omega_5 = \omega_4 \left(-\frac{z_4}{z_5} \right).$$

Для графического определения угловых скоростей нужно определить радиусы делительных окружностей шестерен, вычертить кинематическую схему в масштабе μ_l , построить картину скоростей и план угловых скоростей. Радиусы делительных окружностей определяются по формулам:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{m_1 \cdot z_1}{2}, \text{ мм}; & r_2 &= \frac{m_1 \cdot z_2}{2}, \text{ мм}; \\ r'_2 &= \frac{m_2 \cdot z'_2}{2}, \text{ мм}; & r_3 &= \frac{m_2 \cdot z_3}{2}, \text{ мм}; \\ r_4 &= \frac{m_3 \cdot z_4}{2}, \text{ мм}; & r_5 &= \frac{m_3 \cdot z_5}{2}, \text{ мм}; \end{aligned} \quad (5)$$

где m_1, m_2, m_3 - модули передач.

Модули передач можно определить по формуле:

$$m_l = \frac{d_l}{z_l}, \quad (6)$$

где d_l – диаметры делительных окружностей;

z_l - числа зубьев шестерен.

Делительные окружности проходят примерно по серединам зубьев, чуть ближе к окружности головок. Модули округляем до стандартных значений:

1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,25.

После определения модулей уточняем радиусы делительных окружностей по формулам (5).

Выбираем масштаб длин по соотношению:

$$\mu_l = \frac{d_1}{\bar{d}_1}, \text{ м/мм}, \quad (7)$$

где d_1 - истинное значение диаметра делительной окружности, м;

\bar{d}_1 - чертежное значение этого диаметра, мм.

После выбора масштаба μ_l строим кинематическую схему редуктора.

Построим картину скоростей. Для этого в каждом звене нужно знать скорости двух точек, лежащих в центральной вертикальной плоскости. Скорости промежуточных точек подчиняются линейному закону. Построение начинается с ведущего звена и продолжается по ходу передачи движения.

На рисунке 1 построена картина скоростей для планетарного редуктора 2 типа.

Одной известной точкой шестерни z_1 является центр колеса, где скорость равна нулю. Другой известной точкой является точка на делительной окружности, где скорость:

$$V_{12} = \omega_1 r_1, \text{ м/с},$$

где r_1 – следует подставлять в метрах.

Выбираем отрезок $[P_{12} V_{12}] \approx 50$ мм. Соединяем эти известные точки и получаем закономерность скоростей для первого звена.

Переходим к звену 2,2'. Одной известной точкой является уже рассмотренная точка контакта между колесами z_1 и z_2 . Кроме того, знаем, что скорость точки

контакта между колесами z'_2 и z_3 равна нулю. Соединив эти точки, получаем линию $2,2'$.

Переходим к звену H, z_4 . Скорость конца водила H можно найти как скорость центра колес z_2 и z'_2 на линии $2,2'$. Кроме того, знаем, что скорость центра водила равняется нулю. Соединив эти точки, получаем линию $H, 4$.

Переходим к звену z_5 . Точку контакта между шестернями z_4 и z_5 проецируем на линию $H_4, 4$ и находим скорость этой точки. Кроме того, знаем, что скорость центра колеса z_5 равна нулю. Соединив эти точки, получаем линию 5 .

Определяем масштаб скоростей для механизма 2 типа.

$$\mu_v = \frac{V}{\bar{V}} = \frac{V_{12}}{[P_{12}V_{12}]}, \text{ м/с}\cdot\text{мм.} \quad (8)$$

План угловых скоростей (рисунок 1) строится так. Проводится горизонтальная линия и на произвольном расстоянии h от линии выбирается полюс. Через полюс проводим линии, параллельные линиям на картине скоростей. Указанные линии отсекут отрезки, пропорциональные угловым скоростям, например:

$$\omega_1 = \omega [0; 1]\mu_\omega,$$

где $[0; 1]$ – отрезок на горизонтальной линии;

μ_ω , - масштаб плана угловых скоростей.

$$\mu_\omega = \frac{\mu_v}{h \cdot \mu_\rho}, \quad (9)$$

где h – в мм.

Полученные значения угловых скоростей сравниваем с угловыми скоростями, вычисленными ранее аналитически.

5 Контрольные вопросы

- 5.1 Что такое планетарный и дифференциальный механизмы?
- 5.2 Как определяется степень подвижности механизма?
- 5.3 Объяснить отличие между структурной и кинематической схемами.
- 5.4 Как вычислить масштабы длин, скоростей, угловых скоростей?
- 5.5 Как вычислить модули передач?
- 5.6 Как строится картина скоростей?
- 5.7 Как строится план угловых скоростей?

Список использованных источников

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин/ И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД Альянс, 2012. – 640 с.
2. Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и машин/ Г.А. Тимофеев. – М.:ЮРАЙТ, 2011. – 351 с.
3. Ефанов, А.М. Теория механизмов и машин/ А.М. Ефанов, В.П. Ковалевский. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 267 с.: ил. 198.
4. Козловский, М.З. Теория механизмов и машин/ М.З. Козловский. – 2-е изд. – М.: Академия, 2008. – 559 с.
5. Теория механизмов и машин (курсовое проектирование): учебное пособие/ А.М. Ефанов [и др.]. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 136 с.: ил.72.

Приложение А

(обязательное)

Лабораторная работа № 4

Структурный и кинематический анализ планетарных механизмов

Вариант № ____

Цель работы – уяснение принципа работы планетарных механизмов и методики их кинематического расчета.

А.1 Структурная схема механизма

А.2 Наименование звеньев и основные параметры

Таблица А.1 – Основные параметры

№ звеньев	Наименование звена	Число зубьев z_l	Модуль зацепления (округл. до стандарта) $m_{nl} = d_l / z_l$	Диаметры делительных окружностей $d_l = m_l \cdot z_l$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

А.3 Определение степени подвижности планетарного механизма

$$W = 3n - 2P_1 - P_2 =$$

А.4 Кинематическая схема механизма, планы линейных и угловых скоростей звеньев

$$\mu_l = \frac{d_1}{d_1} = - = \frac{м}{мм},$$

$$\mu_v = \frac{V_1}{V_1} = - = \frac{м/с}{мм},$$

$$\mu_\omega = \frac{\mu_v}{H \cdot \mu_l} = - = \frac{1/с}{мм},$$

А.5 Определение угловых скоростей звеньев

Таблица А.2 – Угловые скорости звеньев

№ звеньев	Аналитический метод (по формулам в методических указаниях для данного типа)	Графический метод $\omega_l \quad \overline{\omega_l} = \overline{\omega_l} \cdot \mu_\omega$	Расхождение % $\Delta\omega = \frac{\omega_r - \omega_A}{\omega_A} \cdot 100\%$
1	$\omega_1 =$		
2	$\omega_2 = \omega_2' =$		
3	$\omega_3 =$		
4	$\omega_4 = \omega_H =$		
5	$\omega_5 =$		

Работу выполнил _____

Работу принял _____