

1. Структурный анализ зубчатых механизмов

Задача 1.1. Выполнить структурный анализ простого зубчатого механизма (рисунок 1).

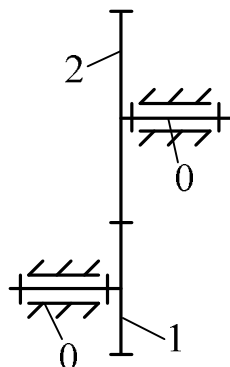


Рисунок 1 – Схема простого зубчатого механизма

Решение. Определим тип механизма. Схема рассматриваемого зубчатого механизма образована одной ступенью (1–2) и расположением зубчатых колес в один ряд, поэтому механизм является простым типовым однорядным зубчатым механизмом с внешним зацеплением.

Все звенья механизма совершают движение в одной плоскости, поэтому он представляет собой плоский механизм. Следовательно, для определения подвижности данного механизма воспользуемся формулой Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2,$$

где p_1 и p_2 – количество кинематических пар с подвижностью равной единице и двум соответственно, n – количество подвижных звеньев кинематической цепи.

Из анализа схемы (рисунок 1) вытекает: однорядный зубчатый механизм состоит из стойки 0, представленной двумя шарнирно-неподвижными опорами и двух подвижных звеньев 1, 2. В этом случае $n = 2$.

Для определения значений коэффициентов p_1 и p_2 выявим все кинематические пары, входящие в состав схемы механизма. Результаты анализа заносим в таблицу 1.

Таблица 1

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
1	0 – 1		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

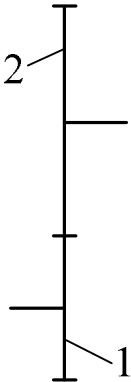
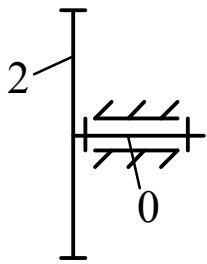
№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
2	1 – 2		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
3	2 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

Схема механизма содержит две низшие одноподвижные кинематические пары: $0 - 1$, $2 - 0$ и одну высшую кинематическую пару с подвижностью равной двум: $1 - 2$. Тогда $p_1 = 2$, а $p_2 = 1$.

Подставив выявленные значения коэффициентов в формулу Чебышева, получим:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1.$$

Полученный результат говорит, что подвижность простого зубчатого механизма (рисунок 1) равна единице, что подтверждает его принадлежность к плоским механизмам.

Состав структуры зубчатых механизмов не рассматривается, так как они являются не Ассуровскими.

Задача 1.2. Выполнить структурный анализ многопоточного зубчатого механизма (рисунок 2).

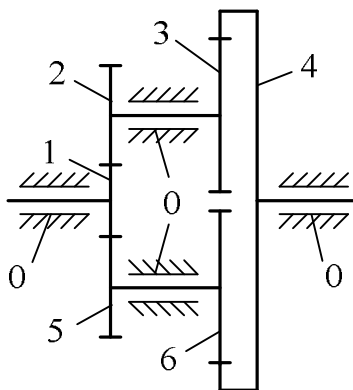


Рисунок 2 – Схема многопоточного зубчатого механизма

Решение. Определим тип механизма. Схема многопоточного механизма (рисунок 2) образована последовательным и параллельным соединением простых зубчатых передач расположенных в два ряда:

1-ый ряд: простые типовые зубчатые передачи с внешним зацеплением (1–2; 1–5);

2-ой ряд: простые типовые зубчатые передачи с внутренним зацеплением (3–4; 6–4);

Все звенья многопоточного зубчатого механизма совершают движение параллельно одной плоскости, поэтому механизм является плоским. Следовательно, для определения его подвижности воспользуемся формулой Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2,$$

где p_1 и p_2 – количество кинематических пар с подвижностью равной единице и двум соответственно, n – количество подвижных звеньев.

Из анализа схемы механизма (рисунок 2) вытекает: многопоточный зубчатый механизм состоит из стойки 0, представленной тремя шарнирно неподвижными опорами, подвижной ведущей шестерни 1, блока зубчатых колес (2–3), рассматриваемого как второе подвижное звено, блока зубчатых колес (5–6), рассматриваемого как третье подвижное звено и выходного зубчатого колеса 4. Схема механизма содержит избыточную связь, представленную блоком колес (5–6). Избыточная связь введена в состав механизма с целью уменьшения значений нагрузок действующих в зацеплениях зубьев колес 1–2 и 3–4. Следовательно, при определении подвижности необходимо исключить из схемы механизма второй блок колес (5–6). В этом случае $n = 3$.

Так же, механизм представленный на рисунке 2 имеет в своей структуре дефекты. Все кинематические пары представлены четвертым классом, то есть не имеют осевых ограничений. В этом случае зубчатые колеса могут совершать поступательные движения по своим геометрическим осям, что может привести к выводу колес из зацепления. При этом постоянство зацепления будет нарушено, следовательно, механизм становится не работоспособным.

На рисунке 3 представлена исправленная структурная схема многопоточного зубчатого механизма (с осевыми ограничениями и без избыточной связи).

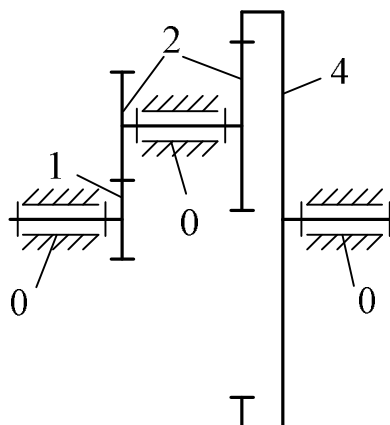


Рисунок 3 – Исправленная структурная схема многопоточного зубчатого механизма

Для определения значений коэффициентов p_1 и p_2 выявим все кинематические пары, входящие в состав схемы механизма. Результаты анализа заносим в таблицу 2.

Таблица 2

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
1	0 – 1		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
2	1 – 2		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
3	2 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
4	2 – 4		4/2	линия (высшая)/ геометрическое

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
5	4 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

Схема механизма содержит три низших одноподвижных кинематических пар: $0 - 1$, $2 - 0$, $4 - 0$ и две высшие кинематические пары с подвижностью равной двум: $1 - 2$, $2 - 4$. Тогда $p_1 = 3$, а $p_2 = 2$.

Подставив выявленные значения коэффициентов в формулу Чебышева, получим:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1.$$

Полученный результат говорит, что подвижность многопоточного зубчатого механизма (рисунок 3) равна единице, что подтверждает его принадлежность к плоским механизмам.

Разделение входного потока механической энергии на несколько потоков выполняют для распределения действия силовых факторов по большему числу кинематических пар, что снижает нагрузки на элементы этих пар и существенно уменьшает габаритные размеры и массу механизмов.

Задача 1.3. Выполнить структурный анализ сложного зубчатого механизма (рисунок 4).

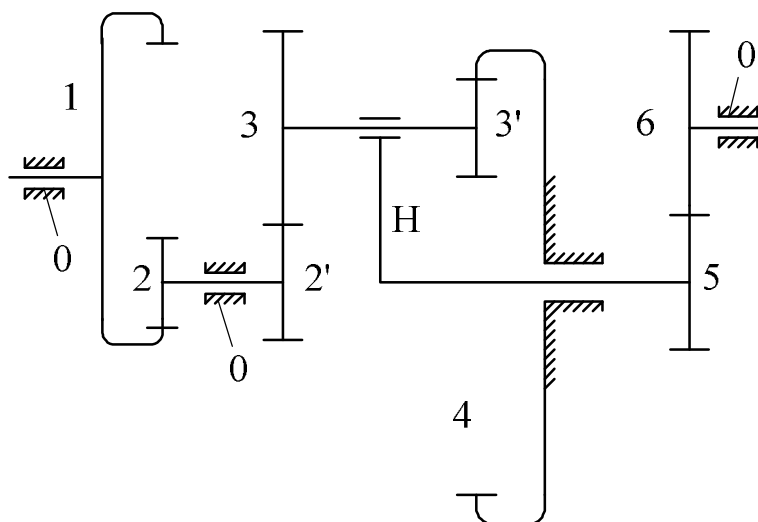


Рисунок 4 – Схема сложного зубчатого механизма

Решение. Определим тип механизма. Для этого в начале разложим схему механизма на отдельные ступени (рисунок 5). Схема рассматриваемого сложного зубчатого механизма образована последовательным соединением следующих ступеней:

- 1 – простой однорядный зубчатый механизм с внутренним зацеплением (1–2);
- 2 – двухрядный планетарный зубчатый механизм с одним внешним и одним внутренним зацеплениями (2' – H);
- 3 – простой однорядный зубчатый механизм с внешним зацеплением (5–6).

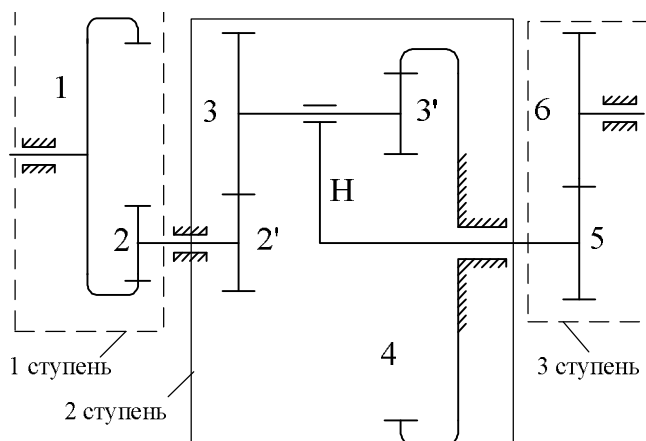


Рисунок 5 – Ступени сложного зубчатого механизма

Все звенья сложного зубчатого механизма совершают движение параллельно одной плоскости, поэтому представляет собой плоский механизм. Следовательно, для определения подвижности данного механизма воспользуемся формулой Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2,$$

где p_1 и p_2 – количество кинематических пар с подвижностью равной

единице и двум соответственно, n - количество подвижных звеньев кинематической цепи.

Из анализа схемы (рисунок 4) вытекает: трехрядный зубчатый механизм состоит из стойки 0, представленной тремя шарнирно-неподвижными опорами и трех подвижных звеньев 1, 2, 3, 5, 6. Колеса 2 – 2', 3 – 3', а так же водило Н и зубчатое колесо 5 жестко соединены друг с другом и образуют блоки зубчатых колес, которые рассматриваются как отдельные подвижные звенья 2, 3 и 5. Колесо 4 является неподвижным звеном, следовательно, оно входит в состав стойки 0 и рассматривается с ней как одно звено. В этом случае $n = 5$.

Механизм представленный на рисунке 4 имеет в своей структуре дефекты. А именно, все кинематические пары представлены четвертым классом, то есть не имеют осевых ограничений. В этом случае зубчатые колеса могут совершать поступательные движения по своим геометрическим осям, что может привести к выводу колес из зацепления. При этом постоянство зацепления будет нарушено, следовательно, механизм становится не работоспособным.

Так же, в структурном анализе учитывается только один сателлит во второй ступени сложного механизма, так как остальные сателлиты будут являться избыточными связями, вследствие разделения ими потока механической энергии и образования нескольких замкнутых контуров.

На рисунке 6 представлена исправленная структурная схема сложного зубчатого механизма (с осевыми ограничениями).

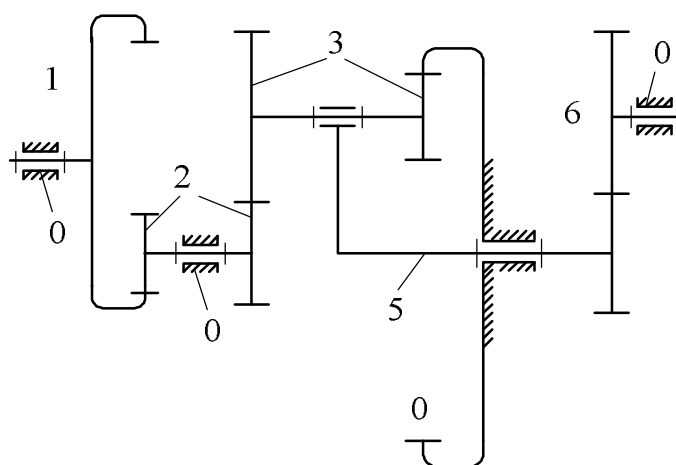
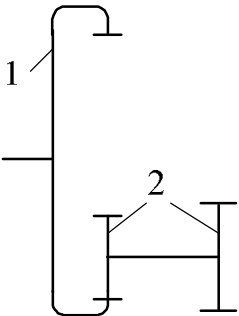
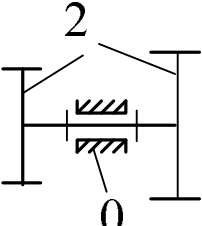
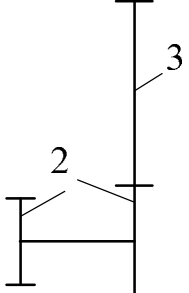
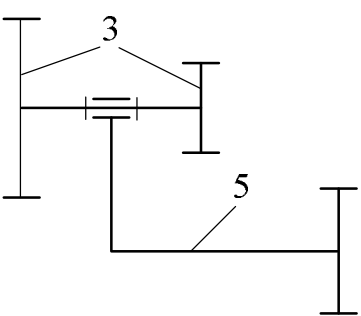
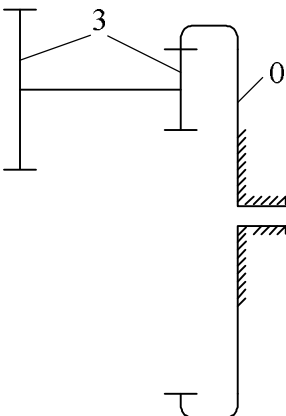


Рисунок 6 – Исправленная структурная схема сложного зубчатого механизма

Для определения значений коэффициентов p_1 и p_2 выявим все кинематические пары, входящие в состав схемы механизма. Результаты анализа заносим в таблицу 3.

Таблица 3

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
1	0 – 1		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
2	1 – 2		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
3	2 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
4	2 – 3		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
5	3 – 5		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
6	3 – 0		4/2	линия (высшая)/ геометрическое

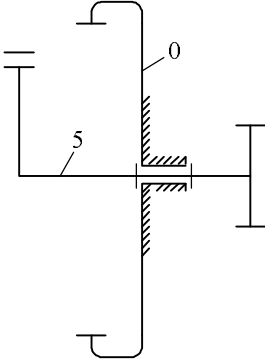
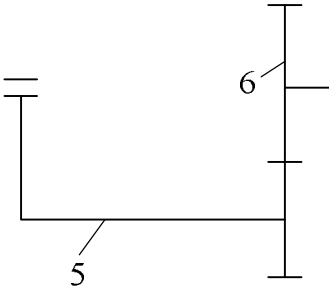
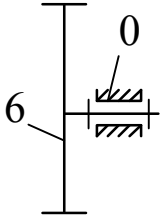
7	5 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
8	5 – 6		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
9	6 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

Схема механизма содержит пять низших одноподвижных кинематических пар: 0 – 1, 2 – 0, 3 – 5, 5 – 0, 6 – 0 и четыре высшие кинематические пары с подвижностью равной двум: 1 – 2, 2 – 3, 3 – 0 и 5 – 6. Тогда $p_1 = 5$, а $p_2 = 4$.

Подставив выявленные значения коэффициентов в формулу Чебышева, будем иметь:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 4 = 1.$$

Полученный результат говорит, что подвижность сложного зубчатого механизма (рисунок 6) равна единице, что подтверждает его принадлежность к плоским механизмам.

Состав структуры зубчатых механизмов не рассматривается, так как они являются не Ассуровскими.

Задача 1.4. Выполнить структурный анализ типового дифференциального зубчатого механизма (рисунок 7).

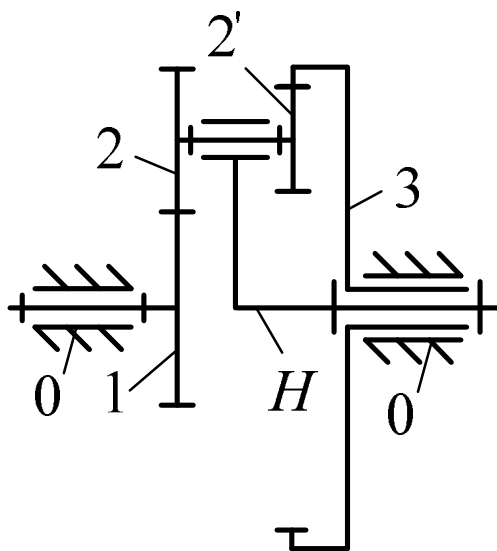


Рисунок 7 – Схема двухрядного дифференциального зубчатого механизма с одним внешним и одним внутренним зацеплениями

Решение. Анализируя схему дифференциального зубчатого механизма видно, что она имеет одно входное звено (зубчатое колесо 1) и два выходных звена (зубчатое колесо 3 и водило H). Следовательно, подвижность рассматриваемого механизма должна получиться больше единицы. Для доказательства данного предположения выполним структурный анализ.

Все звенья дифференциального механизма совершают движение параллельно одной плоскости, поэтому он представляет собой плоский механизм. Поэтому, для определения подвижности воспользуемся формулой Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2,$$

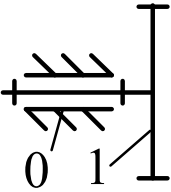
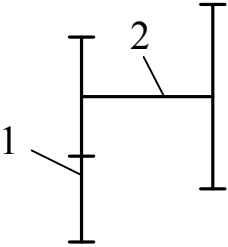
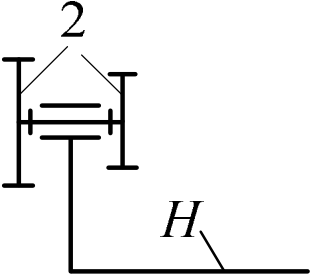
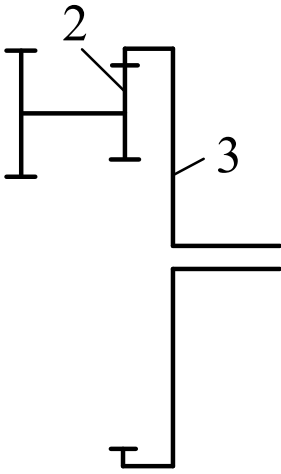
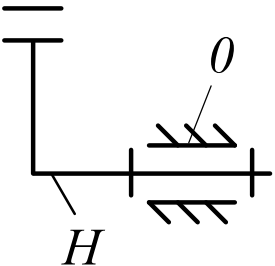
где p_1 и p_2 – количество кинематических пар с подвижностью равной единице и двум соответственно, n – количество подвижных звеньев.

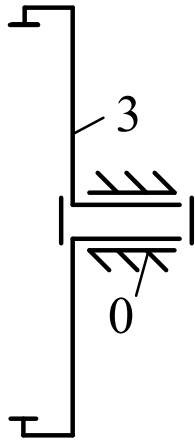
Двухрядный дифференциальный зубчатый механизм (рисунок 7) состоит из стойки 0, представленной двумя шарнирно-неподвижными опорами и четырех подвижных звеньев 1, 2, 3, H . Колеса 2 – 2' жестко соединены друг с другом и образуют блок зубчатых колес, который рассматривается как отдельное подвижное звено 2. В этом случае $n = 4$.

Для определения значений коэффициентов p_1 и p_2 выявим все кинематические пары, входящие в состав схемы механизма. Результаты анализа заносим в таблицу 4.

Схема механизма содержит четыре низшие одноподвижные кинематические пары: 0 – 1, 2 – H , H – 0, 3 – 0, и две высшие кинематические пары с подвижностью равной двум: 1 – 2, 2 – 3. Тогда $p_1 = 4$, а $p_2 = 2$.

Таблица 4

№	Номера звеньев	Схема	Класс/ подвижность	Вид контакта/ замыкание
1	0 – 1		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
2	1 – 2		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
3	2 – H		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
4	2 – 3		4/2	линия (высшая)/ геометрическое
5	H – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое

6	3 – 0		5/1	поверхность (низшая)/ геометрическое
---	-------	---	-----	--

Подставив выявленные значения коэффициентов в формулу Чебышева, будем иметь:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2.$$

Полученный результат означает, что для схемы двухрядного дифференциального зубчатого механизма с одним внешним и одним внутренним зацеплениями (рисунок 6) характерно наличие неопределенности движения выходных звеньев, что в последствии приводит к затруднениям построения планов линейных и угловых скоростей. Для исключения подобных явлений схему дифференциала как бы «замыкают». Полученный механизм называется замкнутым дифференциалом.