ПЛАНЕТАРНЫЕ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

ПЛАНЕТАРНАЯ ПЕРЕДАЧА

- ***Планетарная передача*** (далее — ПП) — механическая передача вращательного движения, за счёт своей конструкции способная в пределах одной геометрической оси вращения изменять, складывать и раскладывать подводимые угловые скорости и/или крутящий момент.
- Обычно является элементом трансмиссии различных технологических и транспортных машин.

ПЛАНЕТАРНАЯ ПЕРЕДАЧА

- ПП всегда представляет собой набор взаимозацепленных зубчатых колёс (не менее 4),
- часть из которых (не менее 2) имеет общую геометрическую неподвижную ось вращения,
- другая часть (также, не менее 2) имеет подвижные оси вращения, концентрически вращающиеся на так называемом «водиле» вокруг неподвижной.
- угловая скорость любого такого звена не абсолютно хаотична, а определяется угловыми скоростями всех остальных звеньев.

СОСТАВ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА

Основные звенья

- Три основные звена с одной общей осью вращения
- - **два центральных зубчатых колеса и водило.**

Вспомогательные звенья

- Набор одинаковых зубчатых колёс на подвижных осях вращения и подшипники.

СОСТАВ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА

- **Солнечная шестерня или солнце** (С).

Малое центральное зубчатое колесо с внешними зубьями

- **Эпициклическая шестерня или эпицикл** (Э) **(корона).**

Большое центральное зубчатое колесо с внутренними зубьями

- **Водило** (В) является основой ПМ —

Водило представляет из себя рычажный механизм — ось «основания» которой совпадает с осью самого ПМ, а оси «зубцов» с установленными на них сателлитами концентрически вращаются вокруг неё в плоскости/плоскостях расположения центральных зубчатых колёс. Оси «зубцов» — это и есть так называемые подвижные оси или оси сателлитов

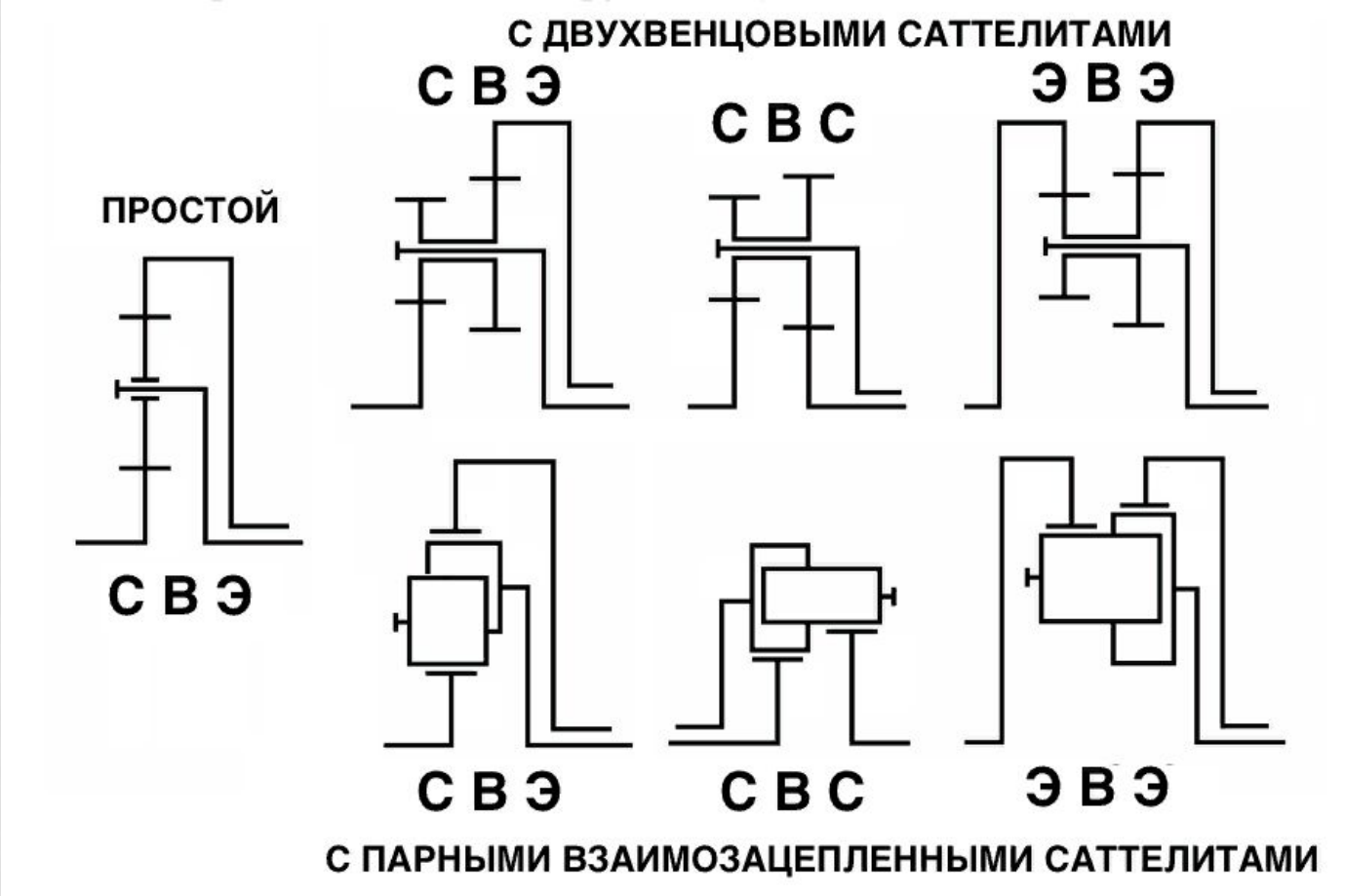
- **Сателлиты** (Ш)

представляют собой зубчатые колёса (или группы колёс) с внешними зубьями. При этом сателлиты находятся в одновременном и постоянном зацеплении с обоими центральными зубчатыми колёсами ПМ. Количество сателлитов в ПМ обычно составляет от двух до шести (чаще всего — три, так как только при трёх сателлитах нет нужды в специальных уравновешивающих механизмах) и точного значения для функциональности ПМ не имеет.

ПРОСТЫЕ ПМ, ПЛАНЕТАРНЫЙ РЯД

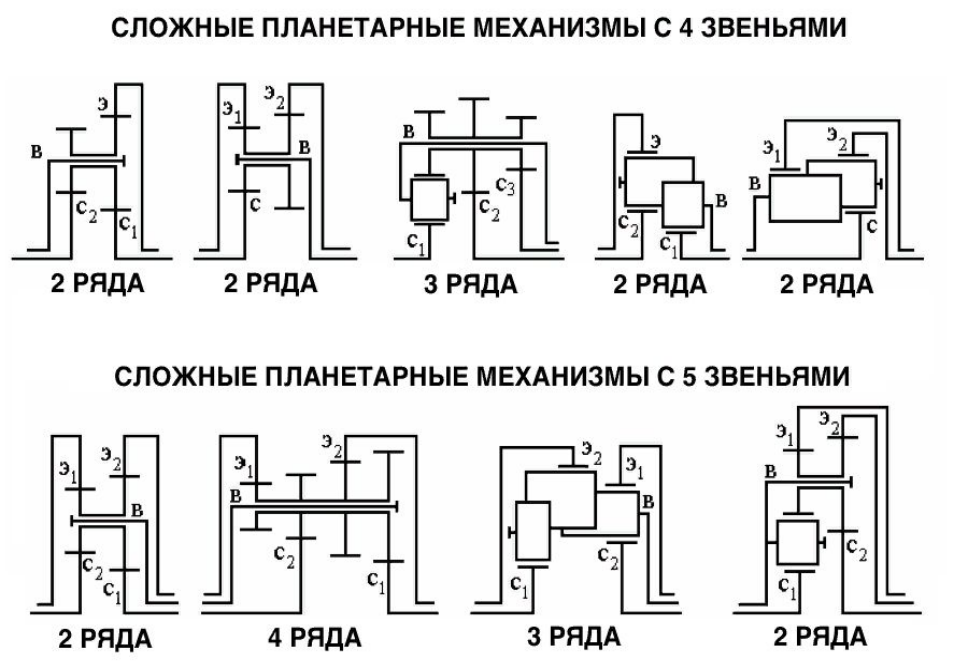
- Критерием деления ПМ на простые и сложные является число составляющих его основных звеньев (именно основных, а не число сателлитов).
- Простой ПМ имеет всего три основных звена: одно водило и два любых центральных зубчатых колеса. Кинематика допускает всего-лишь 7 (семь!) ПМ, подпадающих под это условие:
- один , так называемый «элементарный», с набором одновенцовых сателлитов схемы СВЭ;
- три ПМ с двухвенцовыми сателлитами (СВЭ, СВС, ЭВЭ)
- три ПМ с парными взаимозацепленными сателлитами (СВЭ, СВС, ЭВЭ)).

ПРОСТЫЕ ПМ, ПЛАНЕТАРНЫЙ РЯД



СЛОЖНЫЕ ПМ

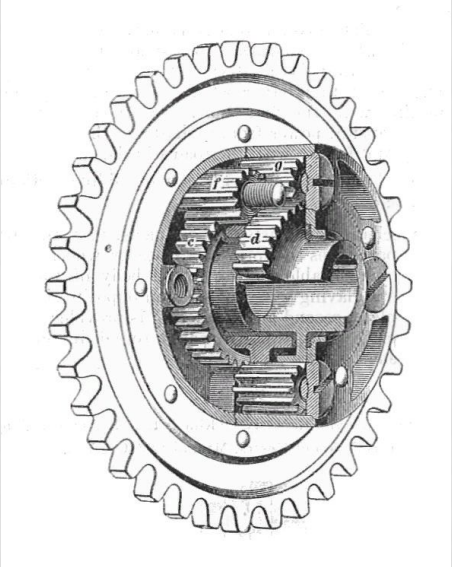
- Сложных ПМ гораздо больше чем простых. Наиболее распространённые из них приведены на рисунке.
- Точно так же как и простые ПМ, сложные имеют всего одно водило, но центральных зубчатых колёс может быть три и более.
- При этом в составе сложного ПМ всегда умозрительно можно выделить несколько простых ПМ (конкретно: три в четырёхзвенном и шесть в пятизвенном), каждый из которых в себя включает два каких-то центральных зубчатых колеса и одно общее водило



ПЛОСКИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПМ

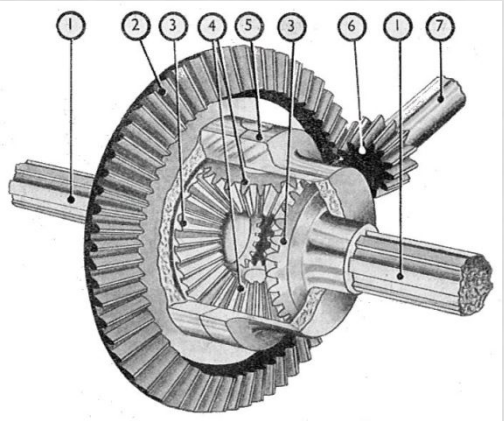
Плоские ПМ

При условии что плоскости вращения всех составляющих каждый ряд зубчатых колёс параллельны,



Пространственные ПМ

наличие непараллельных плоскостей вращения составляющих его зубчатых колёс.



Особенностью ПМ
является наличие у него двух степеней свободы.

В простом трёхзвенном ПМ это означает, что понимание угловой скорости вращения любого одного основного звена не даёт однозначного понимания угловых скоростей двух других основных звеньев, даже если известны все передаточные отношения внутри ПМ.

Все три основных звена находятся в дифференциальной связи друг с другом и для определения их угловых скоростей надо знать угловые скорости как минимум двух из них.

В этом есть важное отличие ПМ от прочих зубчатых механизмов, в которых угловые скорости всех элементов связаны линейной зависимостью, а по угловой скорости одного элемента всегда можно точно определить угловые скорости всех остальных элементов, сколь много их бы не было.

Особенности ПМ

способность ПМ изменять угловые скорости на выходе при неизменных угловых скоростях на входе, способность делить и суммировать потоки мощности и всё это при постоянно зацепленных шестернях.

Независимо от числа основных звеньев любого работоспособного сложного ПМ, в нём, так же как и в простом ПМ, в дифференциальной связи друг с другом будет находиться только три основных звена (он будет всегда иметь только две степени свободы), а остальные основные звенья, сколько бы их ни было, будут иметь линейную связь с каким-то одним из трёх вышеупомянутых.

ПЕРЕДАТОЧНОЕ ОТНОШЕНИЕ

При использовании планетарной передачи в качестве редуктора один из трёх её основных элементов фиксируется неподвижно, а два других служат в качестве ведущего и ведомого. Таким образом, передаточное отношение будет зависеть от количества зубьев каждого компонента, а также от того, какой элемент закреплён.

если мы обозначим число зубьев солнечной шестерни как ***S***, а для планетарных шестерён примем это число как ***P*** передаточное отношение будет определяться формулой

$$\frac{S}{P}$$

При внутреннем зацеплении шестерни вращаются в дону сторону (+),
При внешнем зацеплении шестерни вращаются в разные стороны (-)

Если у солнечной шестерни **24** зуба, а у планетарных по **16**, то передаточное отношение **-24/16** или **-3/2** , что означает поворот планетарных шестерён на **1,5** оборота в противоположном направлении относительно солнечной.

Далее вращение планетарных шестерён может передаваться коронной шестерне, с соответствующим передаточным числом. Если коронная шестерня имеет **A** зубьев, то оно будет вращаться с соотношением **P/A** относительно планетарных шестерён.
В данном случае перед дробью нет минуса, так как при внутреннем зацеплении шестерни вращаются в одну сторону.
Например, если на кольцевой шестерне **64** зуба, то относительно приведённого выше примера это отношение будет равно **16/64** или **1/4** .
Таким образом, объединив оба примера, мы получим следующее:

оборот солнечной шестерни даёт **–S/P** оборотов планетарных шестерён;
оборот планетарной шестерни даёт **P/A** оборотов коронной шестерни.
Если водило заблокировано, общее передаточное отношение системы **–S/A , 24/64 =3/8**

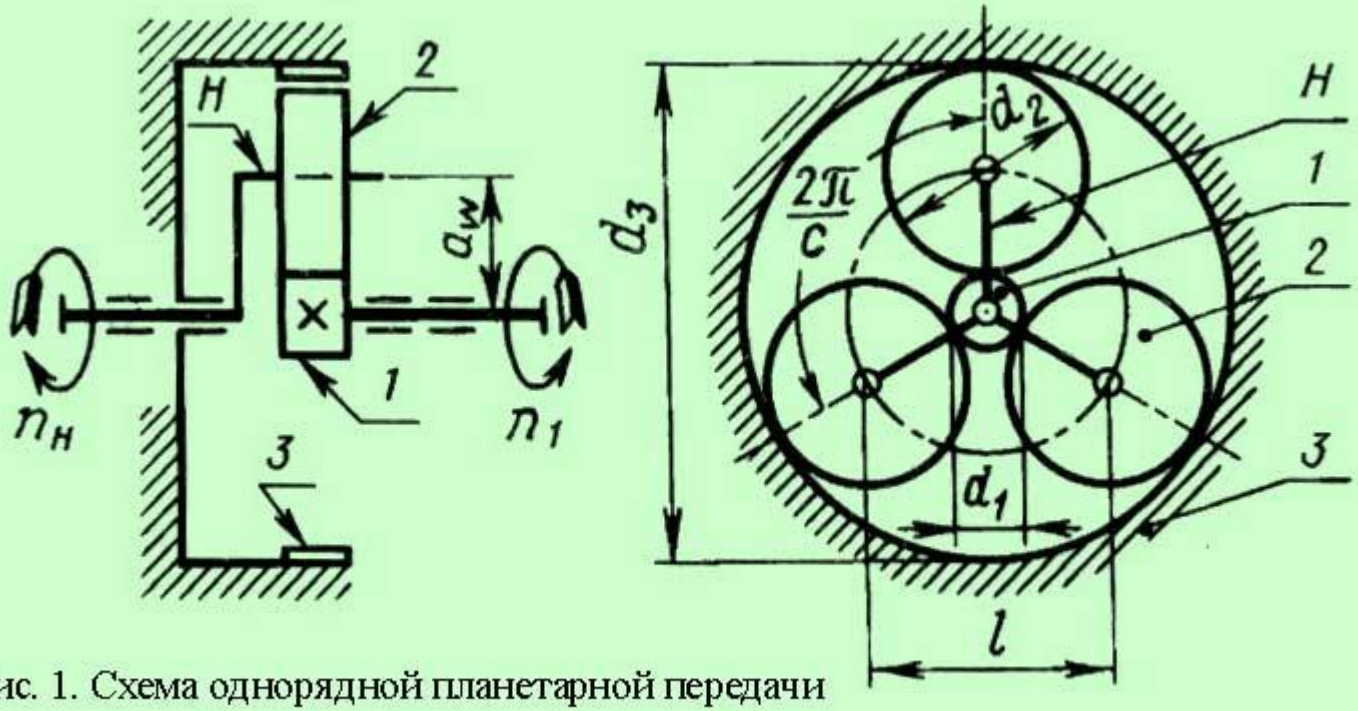


Рис. 1. Схема однорядной планетарной передачи

Наиболее широко в машиностроении применяют однорядную планетарную передачу, схема которой показана на рисунке 1. Эта передача конструктивно проста, имеет малые габариты. Находит применение в силовых и вспомогательных приводах.

КПД планетарной передачи **η = 0,96…0,98** при передаточных числах **υ = 3…8**.

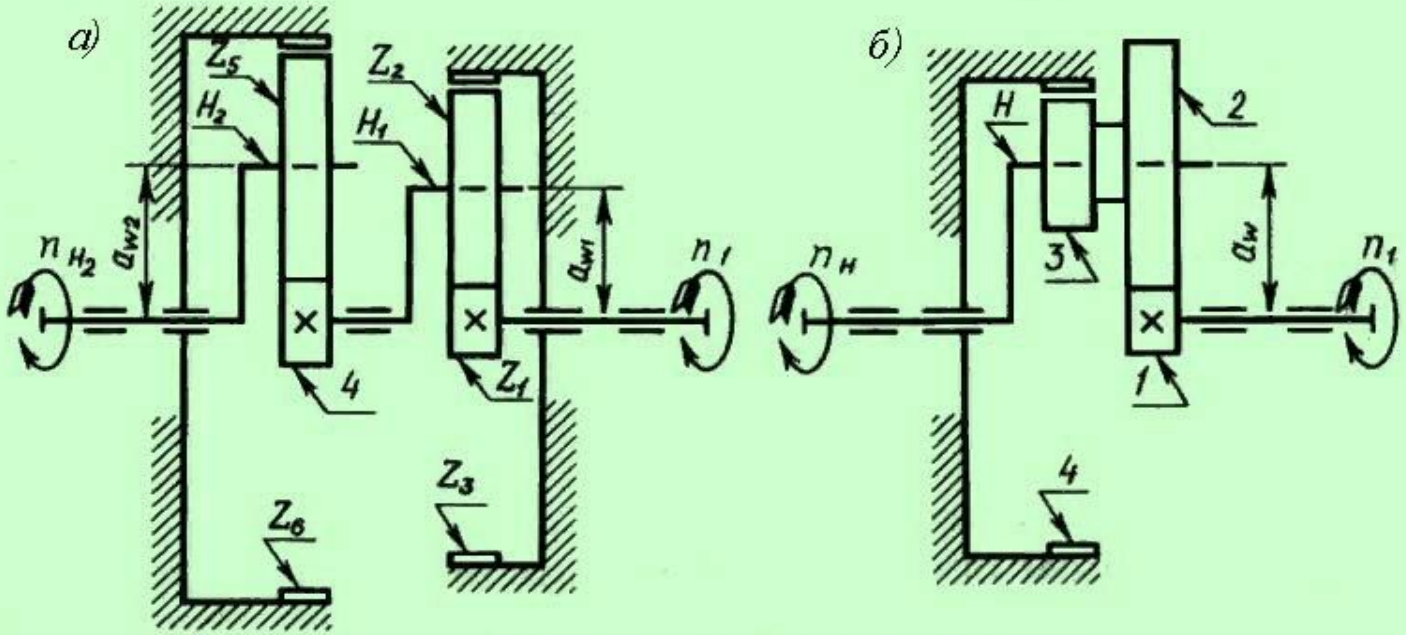


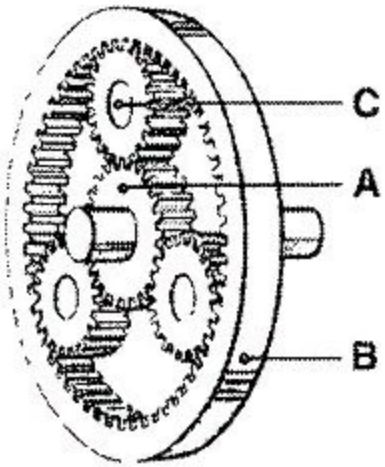
Рис. 2. Схемы планетарных передач:
а - двухступенчатой; *б* - с двухвенцовым сателлитом

На *рис. 2,а* планетарная передача составлена из двух последовательно соединенных однорядных планетарных передач.
суммарное передаточное число ***u*** =
u1×u2 ≤ *64*, а КПД равен ***η*** =***η1×η2*** = ***0,92…0,96.***

На *рисунке 2, б* показана схема планетарной передачи с двухрядным (двухвенцовым) сателлитом, для которой при передаче движения от колеса ***1*** к водилу *H* при ***n4 = 0*** передаточное число определяется из зависимостей:
u = n1/nH = 1 + z2z4/(z1z3).

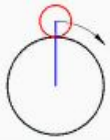
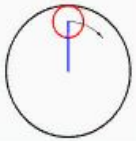
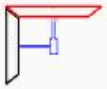
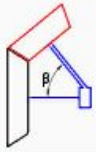
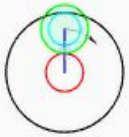
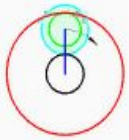
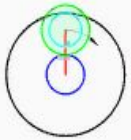
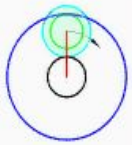
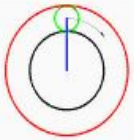
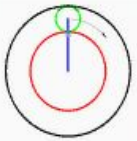
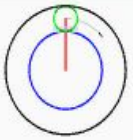
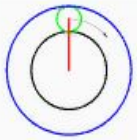
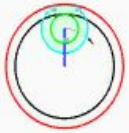
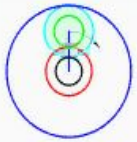
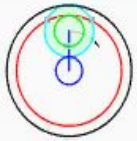
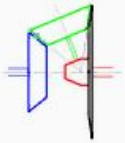
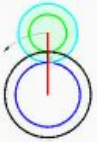
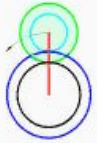
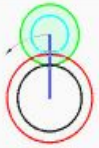
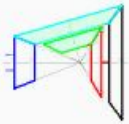
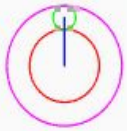
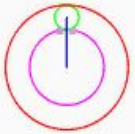
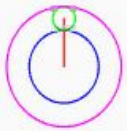
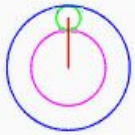
Рис. 8. Планетарный механизм с различными передаточными числами:
А – солнечное зубчатое колесо; В – коронное зубчатое колесо; С – сателлит

Основное уравнение для планетарного механизма: $n_A + (Z_B/Z_A)\, n_B - (1 + Z_B/Z_A)\, n_C = 0$



Вход	Выход	Остановлено	Передаточное число	Примечание
A	C	B	$i = 1 + Z_B/Z_A$	$2{,}5 \le i \le 5$
B	C	A	$i = 1 + Z_A/Z_B$	$1{,}25 \le i \le 1{,}67$
C	A	B	$i = \dfrac{1}{1 + Z_B/Z_A}$	$0{,}2 \le i \le 0{,}4$ повышающие передачи
C	B	A	$i = \dfrac{1}{1 + Z_A/Z_B}$	$0{,}6 \le i \le 0{,}8$ повышающие передачи
A	B	C	$i = -Z_B/Z_A$	передачи заднего хода $-4 \le i \le -1{,}5$
B	A	C	$i = -Z_A/Z_B$	передачи заднего хода $-0{,}67 \le i \le -0{,}25$

Схемы и выходные скорости планетарных передач

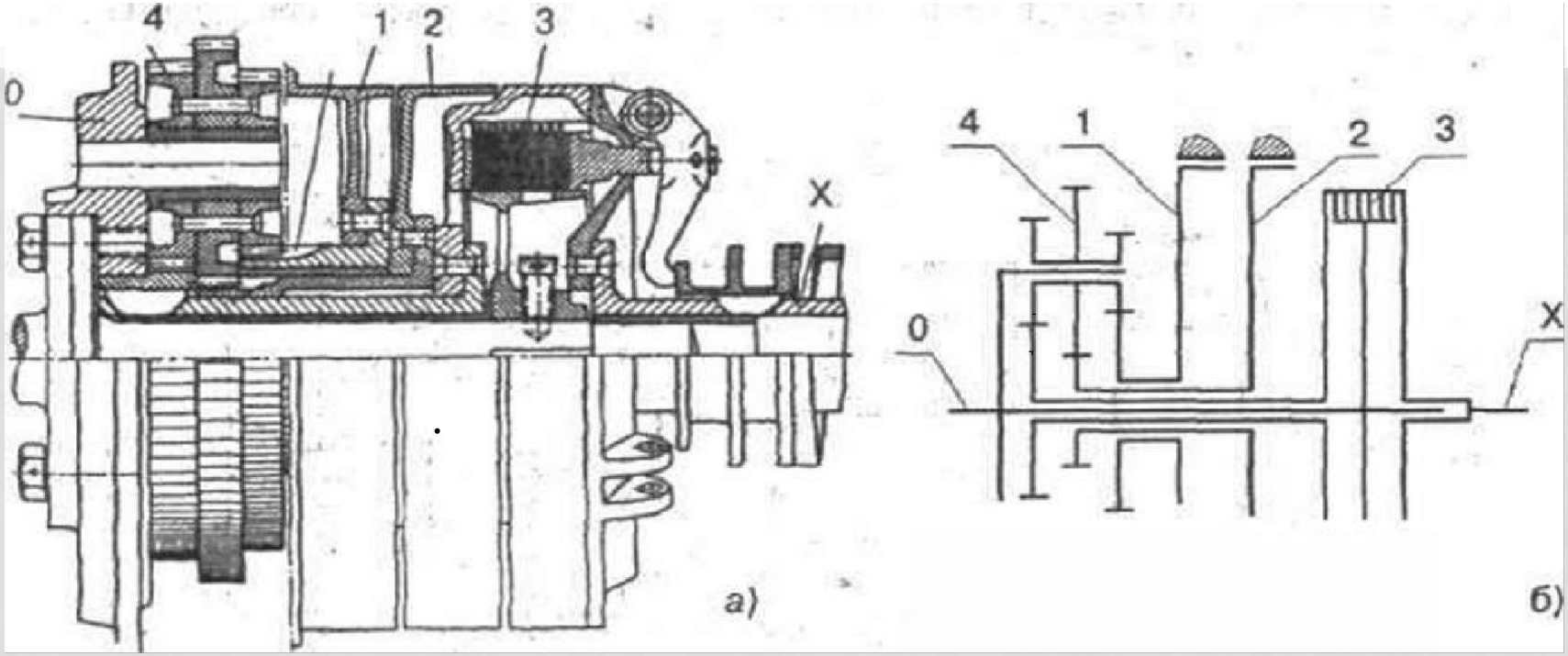
Схема	Выходная скорость	Схема	Выходная скорость	Схема	Выходная скорость	Схема	Выходная скорость
	$n = n(1 + \frac{z}{z})$		$n = n(1 - \frac{z}{z})$		$n = n(0 + \frac{z}{z})$		$n = n(\cos\beta + \frac{z}{z})$
	$n = n(1 + \frac{zz}{zz})$		$n = n(1 + \frac{zz}{zz})$		$n = n\frac{1}{1 + \frac{zz}{zz}}$		$n = n\frac{1}{1 + \frac{zz}{zz}}$
	$n = n(1 + \frac{z}{z})$		$n = n(1 + \frac{z}{z})$		$n = n\frac{1}{1 + \frac{z}{z}}$		$n = n\frac{1}{1 + \frac{z}{z}}$
	$n = n\frac{zz}{zz}$		$n = n\frac{1 - \frac{zz}{zz}}{1 + \frac{z}{z}}$		$n = n\frac{1 - \frac{zz}{zz}}{1 + \frac{z}{z}}$		$n = n\frac{1}{1 + \frac{z}{z}}$
	$n = n\frac{1}{1 - \frac{zz}{zz}}$		$n = n\frac{1}{1 - \frac{zz}{zz}}$		$n = n\frac{1 - \frac{zz}{zz}}{1 + \frac{z}{z}}$		$n = n(1 - \frac{zz}{zz})$
	$n = n\left[1 - \left(\frac{n}{n} - 1\right)\frac{z}{z}\right]$		$n = n\left[1 - \left(\frac{n}{n} - 1\right)\frac{z}{z}\right]$		$n = n\frac{1 + \frac{nz}{nz}}{1 + \frac{z}{z}}$		$n = n\frac{1 + \frac{nz}{nz}}{1 + \frac{z}{z}}$

УПРАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Фрикционы соединяют друг с другом два свободных звена ПМ, либо соединяют свободное звено с внешним подводом мощности. В обоих случаях при полной блокировке фрикционы обеспечивают паре соединённых элементов некую одинаковую ненулевую угловую скорость. Конструктивно обычно выполнены в виде многодисковых фрикционных муфт, хотя в отдельных случаях возможны и более простые муфты.

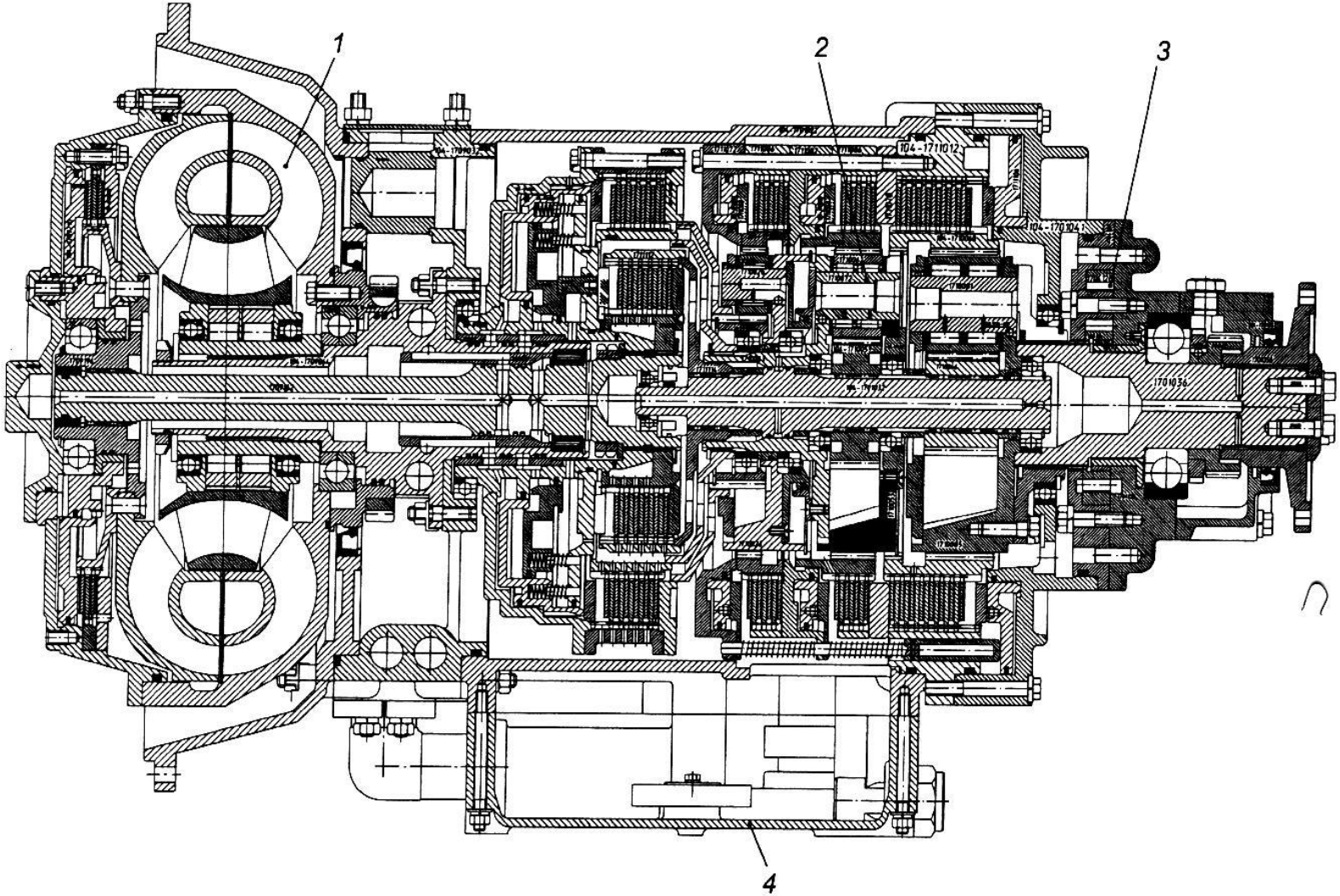
Тормоза соединяют свободные звенья ПМ с корпусом ПП. При полной блокировке тормоза обеспечивают заторможенному свободному звену нулевую угловую скорость. Конструктивно могут быть аналогичны фрикционам — в виде многодисковых фрикционных муфт; но широко распространены и более простые конструкции — ленточные, колодочные, однодисковые.

ПЛАНЕТАРНЫЕ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ



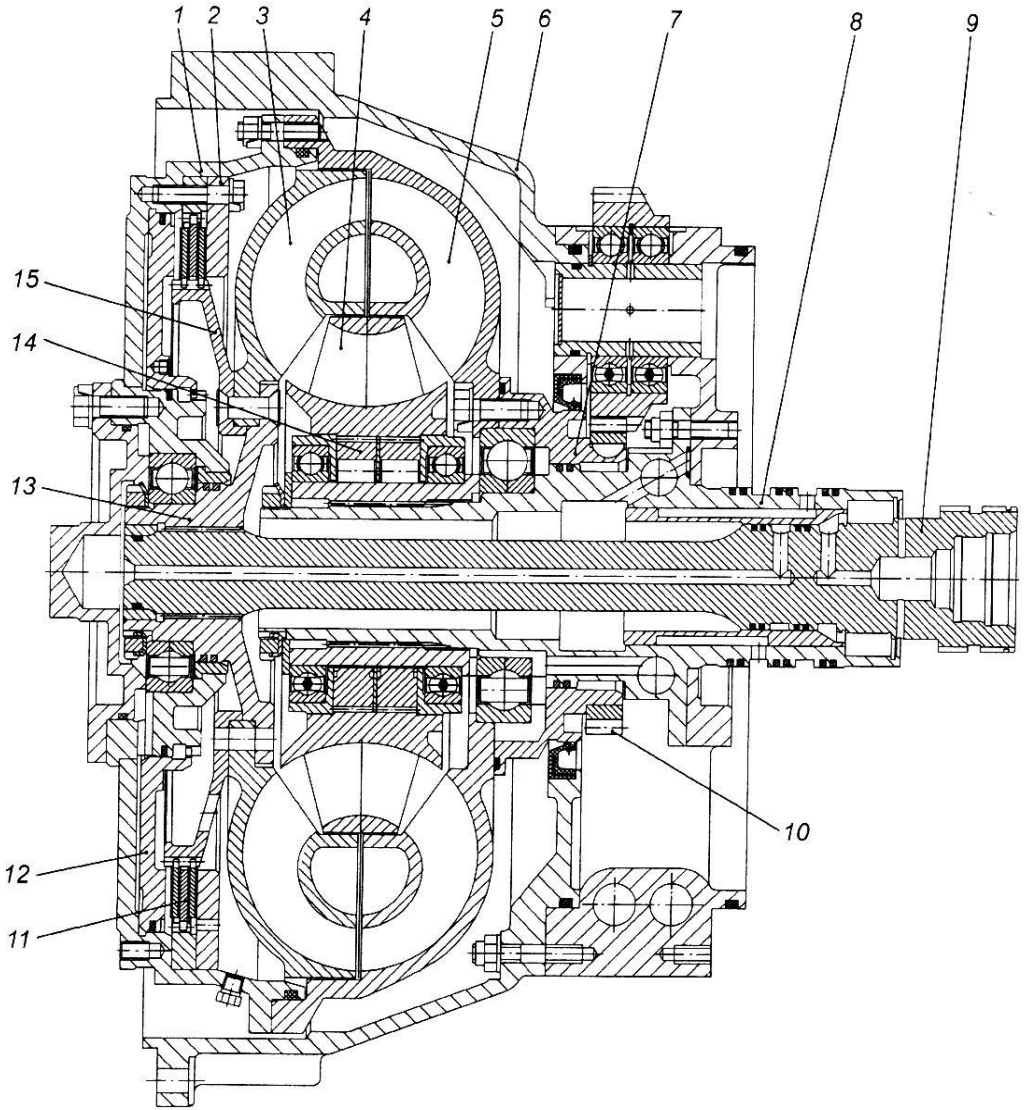
0 - ведущее звено (маховик двигателя);
1 - тормоз передачи заднего хода;
2 - тормоз первой передачи;
3 - муфта второй (прямой) передачи;
4 -- трехвенцовый сателлит;
X - ведомый вал

При затягивании ленточного тормоза 2 коробка работает в редукторном режиме, а при включении ленточного тормоза 1 реализуется передача заднего хода. Включение блокировочной муфты приводит к полной блокировке планетарного механизма что соответствует прямой передаче

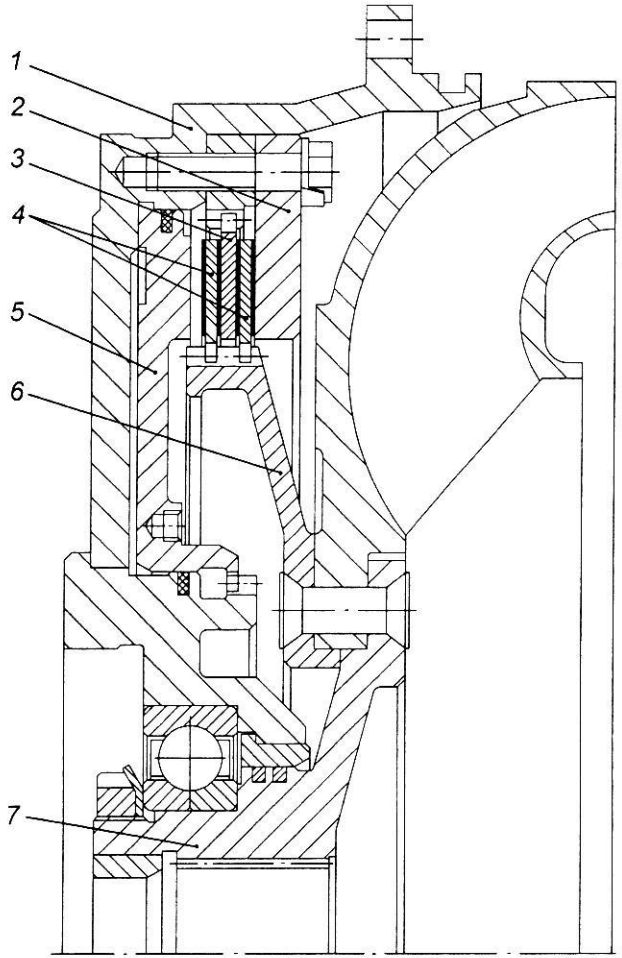


1 - гидротрансформатор;
2 - планетарная коробка передач;
3 - задний насос;
4 - масляный поддон

Рисунок 4.1 – Гидромеханическая передача МЗКТ-3361

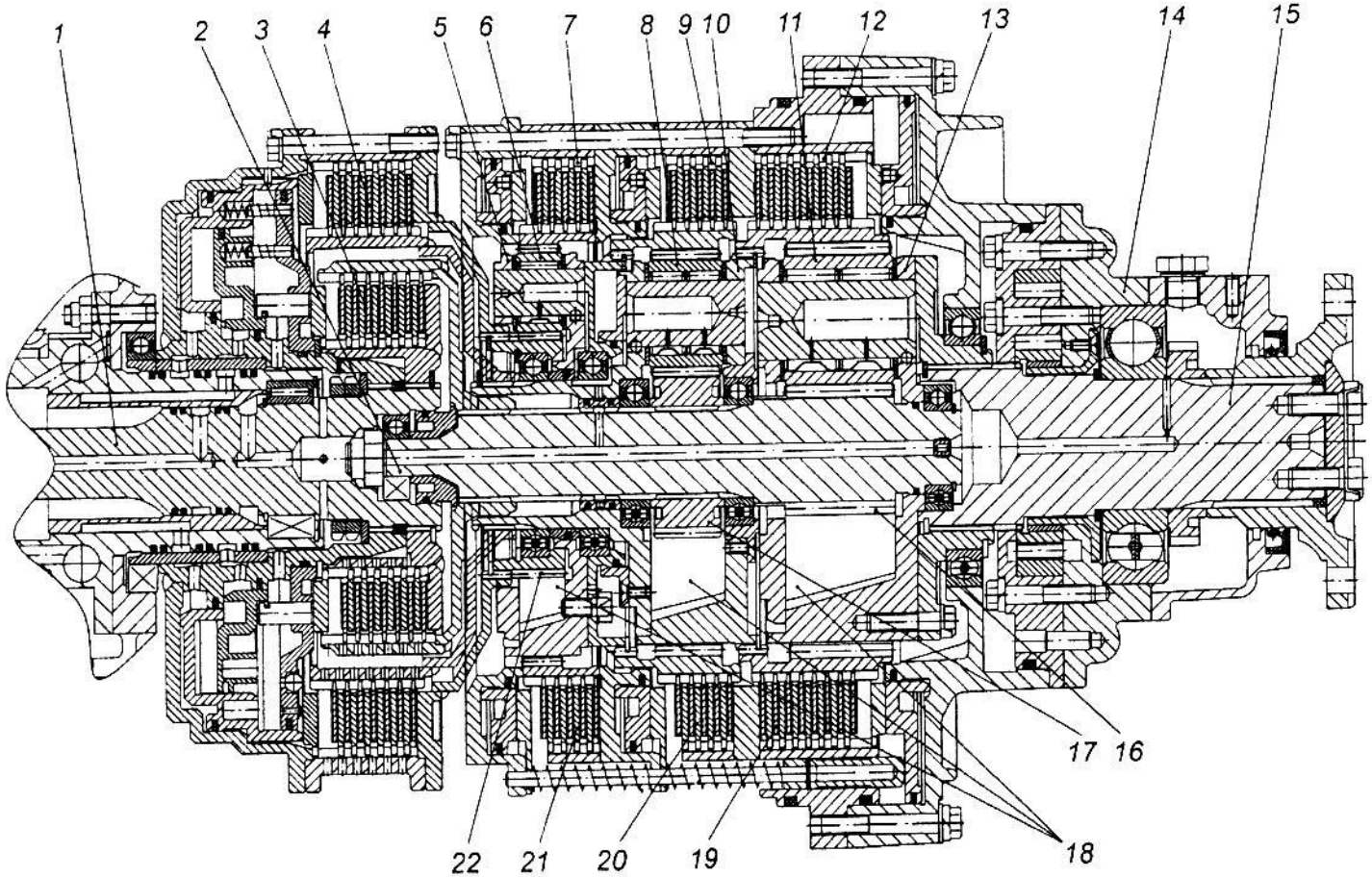


1 - корпус фрикциона блокировки;
2 - упорный диск;
3 - турбинное колесо;
4 - реактор;
5 - насосное колесо;
6 - картер гидротрансформатора;
7 - ступица насосного колеса;
8 - ступица реактора;
9 - турбинный вал;
10 - шестерня привода насоса;
11 - диски фрикциона блокировки;
12 - поршень;
13 - ступица турбинного колеса;
14 - муфта свободного хода реактора;
15 - ступица фрикциона блокировки



1 - корпус фрикциона блокировки;
2 - упорный диск;
3 - промежуточный диск;
4 - ведомый диск;
5 - поршень;
6 - ступица фрикциона блокировки;
7 - ступица турбинного колеса

Рисунок 4.7 – Фрикцион блокировки ГДТ



1 - входной (турбинный) вал;
2 - промежуточный вал;
3, 4 - вращающиеся муфты;
5, 10, 13 – водило;
6, 8, 11 - сателлит;
7, 9, 12 – коронная шестерня;
14 - крышка;
15 - выходной вал;
16, 17, 22 – солнечная шестерня;
18 - планетарные механизмы;
19, 20, 21 - неподвижные муфты;

Рисунок 4.8 – Планетарная коробка передач

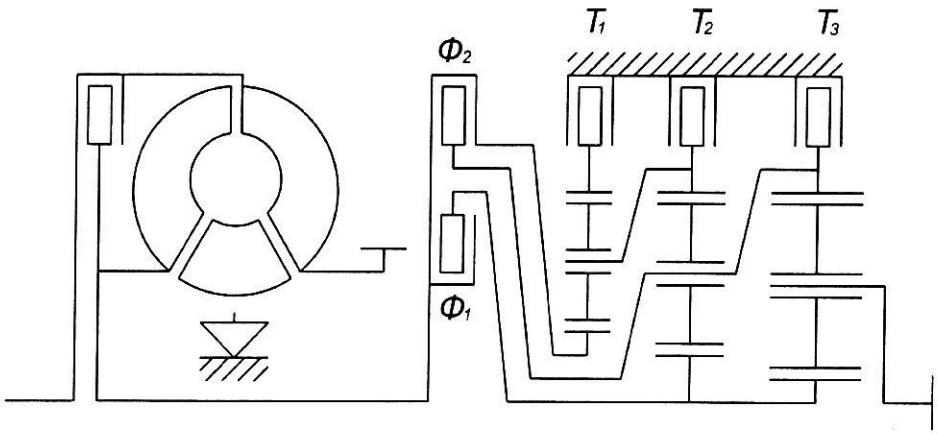


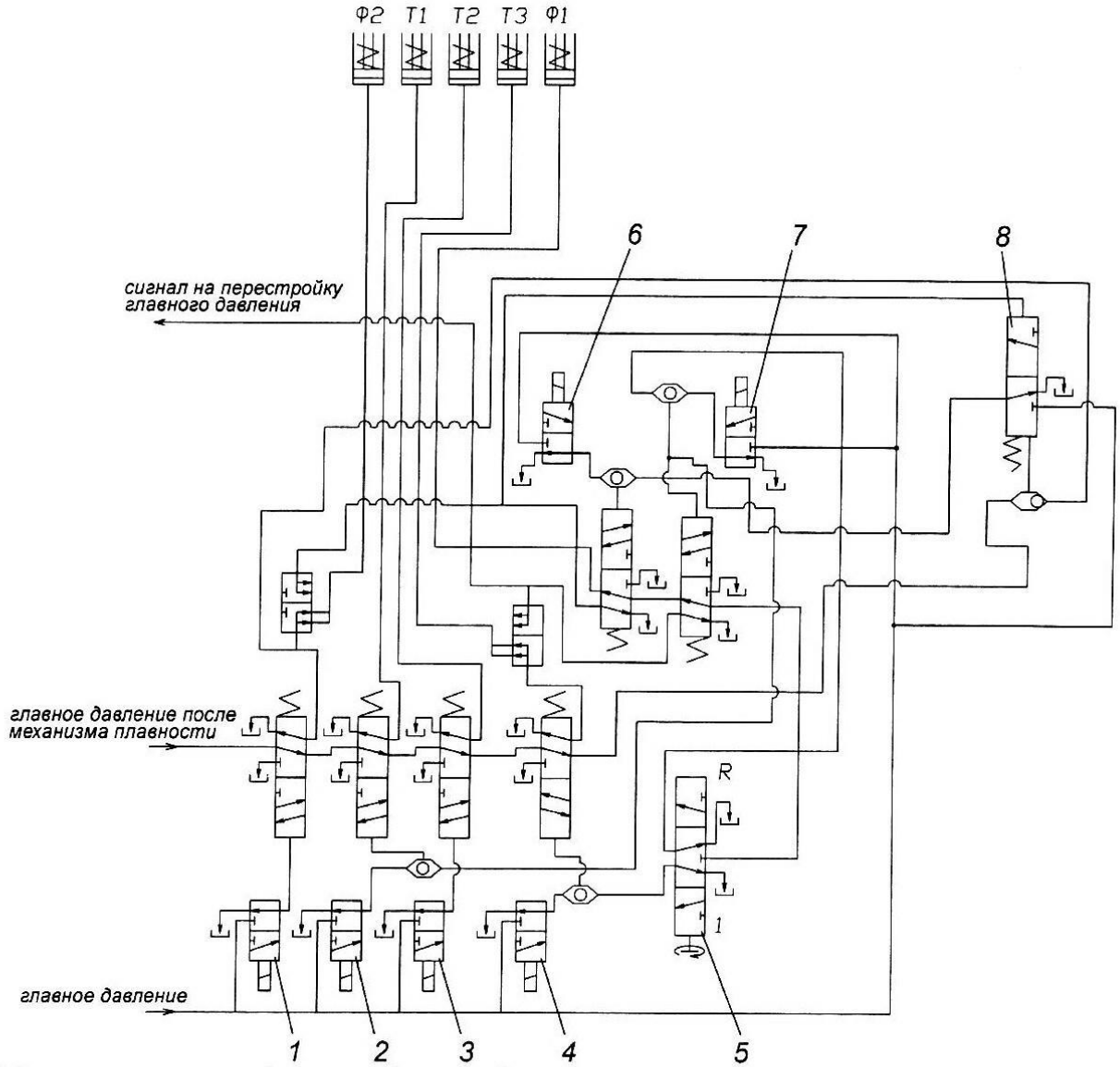
Рисунок 4.9 - Кинематическая схема ПКП

Выбор передачи ПКП осуществляется включением двух фрикционных муфт. На нейтрали включается только муфта $Ф_1$. При включении муфт $Ф_1$ и $Ф_2$ редуктор блокируется, что соответствует прямой (четвертой) передаче. При последовательном переключении передач изменяется состояние только одной фрикционной муфты.

Схема включения фрикционных муфт по передачам приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Схема включения фрикционных муфт

	$Ф_1$	T_1	T_2	T_3	$Ф_2$
R		●		●	
N	●				
1	●			●	
2	●		●		
3	●	●			
4	●				●
5		●			●
6			●		●



1 – ЭГК №1 и клапан включения фрикциона Ф2;
2 – ЭГК №2 и клапан включения фрикциона Т1;
3 – ЭГК №3 и клапан включения фрикциона Т2;
4 – ЭГК №4 и клапан включения фрикциона Т3;
5 – клапан аварийного переключения;
6 – ЭГК №5 и клапан включения фрикциона Ф1;
7 – ЭГК №6 и клапан включения фрикционов Т1 и Т3;
8 – клапан защиты

Рисунок 4.12 – Схема системы управления