

## Гидродифференциальная передача дорожно-строительной машины

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время предприятиями транспортного машиностроения ведется поиск рациональных направлений развития приводов ходового оборудования транспортно-тяговых машин, роботизированных систем технологического назначения. Активно развиваются объемные гидропередачи (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных тягово-транспортных машин.

Структура ОГП с внутренним разветвлением потока мощности на базе аксиально-поршневых гидромашин [1] предполагает связь ведущего вала с блоком цилиндров 5 насоса 1 (см. рисунок 1, а, б) при зафиксированных наклонной шайбе б и гидрораспределителе насоса 1, либо с наклонной шайбой б насоса 1 и гидрораспределителем (см. рисунок 1, в, г), при неподвижном блоке цилиндров 5 насоса 1. Блок цилиндров 5 насоса 1 связан с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). Ведомый вал связан с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). Наклонная шайба б насоса 1 связана с наклонной шайбой 8 (см. рисунок 1, в), либо с блоком цилиндров 7 (см. рисунок 1, г) гидромотора 2. Ведомый вал связан с блоком цилиндров 7 (см. рисунок 1, в), либо с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, г). В механических линиях связи структурных элементов насоса 1 и гидромотора 2 с ведомым валом могут включаться промежуточный 3 и выходной 4 редукторы, обеспечивающие получение заданного диапазона скоростей вращения  $n_2$  ведомого вала, при фиксированном значении частоты вращения ведущего вала  $n_1$ .

Анализ структуры ОГП с внутренним разветвлением потока мощности показывает, в ОГП, реализованных на основании структурных схем с фиксированным положением наклонной шайбы и

гидрораспределителя насоса возможно применение аксиально-поршневых насосов с традиционной системой регулирования объема посредством изменения угла наклона шайбы 6 насоса 1 (см. рисунок 1, а, б). Наряду с традиционным методом регулирования объема насоса посредством изменения угла наклона шайбы насоса возможно применение метода фазового регулирования, состоящего в изменении относительного углового положения наклонной шайбы с неизменным углом наклона и гидрораспределителя. В применении к рассматриваемым структурным схемам ОГП (см. рисунок 1, а, б) метод фазового регулирования может быть реализован поворотом наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси насоса [2, 3].

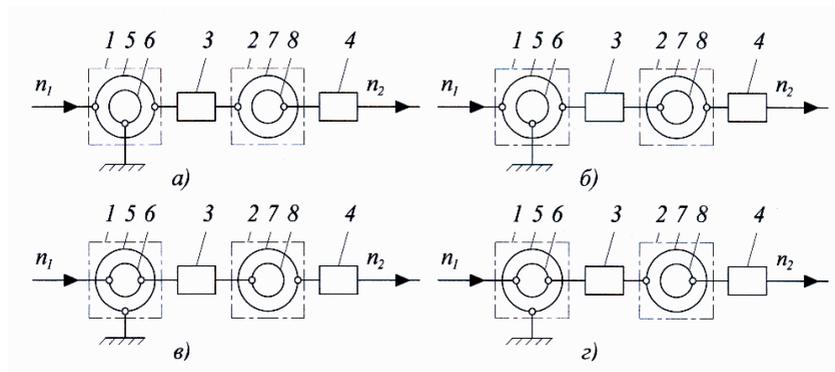


Рис. 1. Структурные схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности: 1 – насос; 2 – гидромотор; 3, 4 – промежуточный, выходной редуктор; 5, 7 – блок цилиндров насоса, гидромотора; 6, 8 – наклонная шайба и гидрораспределитель насоса, гидромотора

Рассмотрим пример конструктивной схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности (см. рисунок 1, б) на основе технической реализации метода фазового регулирования по первому направлению.

ОГП включает аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности, аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного

объема, промежуточный планетарный редуктор 3, выходной планетарный редуктор 4 (рисунк 2).

Аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности включает приводной вал 5, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 6, блок цилиндров 7 связанный с втулкой 8, связанной посредством шлицевого соединения с приводным валом 5. Блок цилиндров 7 оснащен поршнями 9, образующими рабочие полости 10. Поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11. Наклонная шайба 11 закреплена на ступице 12, установленной в подшипниковом узле скольжения передней крышки корпуса 6 с возможностью поворота относительно оси ОГП на угол  $0 \pm 90^\circ$ . Для обеспечения поворота ступица 12 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 13 осуществляется автономным двигателем.

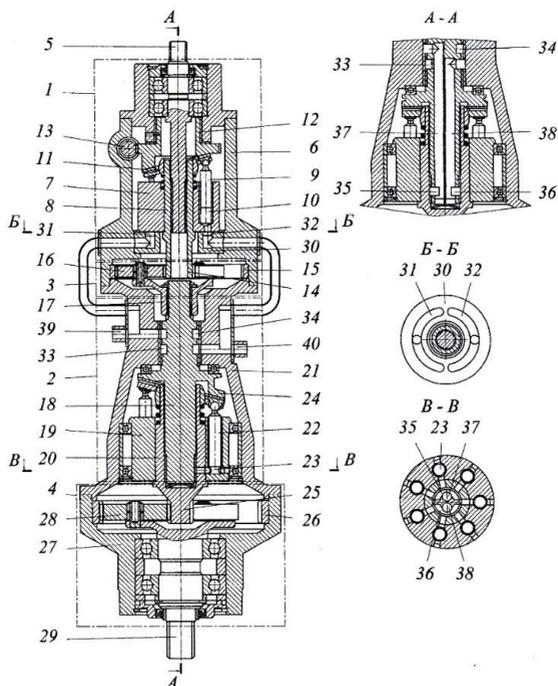


Рис. 2. Конструктивная схема ОГП с внутренним разветвлением потока мощности

Промежуточный планетарный редуктор 3 включает солнечную шестерню 14, выполненную заодно с втулкой 8, коронную шестерню 15, установленную в корпусе 6 и сателлиты 16, установленные на осях водила 17. Водило 17, установлено на промежуточном валу 18 и связано с ним посредством шлицевого соединения.

Аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема включает блок цилиндров 19 связанный с втулкой 20, установленный по наружной поверхности в подшипниковом узле корпуса 21 аксиально-поршневого гидромотора 2 с возможностью поворота относительно оси. Поршни 22 образуют рабочие полости 23 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 24, выполненной заодно с промежуточным валом 18. Промежуточный вал 18 взаимодействует наружной поверхностью с внутренней поверхностью втулки 20 блока цилиндров 19 и опирается на корпус 21 посредством упорного подшипника. Наклонные шайбы 11, 24 выполнены с постоянными углами наклона.

Выходной планетарный редуктор 4 включает солнечную шестерню 25, выполненную заодно с втулкой 20, коронную шестерню 26, установленную в корпусе 27 планетарного редуктора 4 и сателлиты 28, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 29, установленным в подшипниковом узле корпуса 27 планетарного редуктора 4.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого насоса 1 выполнен в виде опорно-распределительного диска 30, взаимодействующего с торцевой поверхностью блока цилиндров 7. Опорно-распределительный диск 30 закреплен в корпусе 6 и оснащен двумя полукольцевыми пазами 31, 32, выполненными на торцевой поверхности. Полости полукольцевых пазов 31, 32 связаны с полостями кольцевых канавок 33, 34, образованных на наружной поверхности промежуточного вала 18.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 2 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 35, 36 с центральным углом  $180^\circ$ , образованную на наружной поверхности промежуточного вала 18. Продольная плоскость сегментных пазов 35, 36 совпадает с плоскостью наклона шайбы 24. Полости сегментных пазов 35, 36 связаны каналами 37, 38 промежуточного вала 18 с полостями кольцевых канавок 33, 34.

Рабочие полости 10 блока цилиндров 7 связаны каналами с полостями полукольцевых пазов 31, 32 опорно-распределительного диска 30. Рабочие полости 23 блока цилиндров 19 связаны радиальными каналами с полостями сегментных пазов 35, 36.

К каналам 39, 40, связанным с кольцевыми канавками 33, 34 подключаются контур подпитки и предохранительные клапаны (не показаны). Каналы 37, 38 закрыты технологическими заглушками.

Приводной вал 5 аксиально-поршневого насоса 1 вращается (по часовой стрелке) от двигателя (не показан), и приводит во вращение втулку 8 с блоком цилиндров 7 аксиально-поршневого насоса 1, солнечную шестерню 14, сателлиты 16 с водилом 17, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 аксиально-поршневого гидромотора 2. При вращении блока цилиндров 7 поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11 и совершают возвратно-поступательное движение в блоке цилиндров 7.

В начальном (условно) положении наклонной шайбы 11 (см. рисунок 2) плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 11. Рабочие полости 10 при движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 (такт всасывания), связаны с кольцевой канавкой 34, полукольцевым пазом 31 и с кольцевой канавкой 33, полукольцевым пазом 32 половину хода поршней 9. Аналогично, рабочие полости 10 цилиндров, поршни 9 которых, совершают движение внутрь блока цилиндров 7 (такт нагнетания), связаны с полукольцевым пазом 32 и кольцевой канавкой 33, и с полукольцевым пазом 31 и кольцевой канавкой 34 половину хода поршней 9.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол  $0 \div 90^{\circ}$  – первая половина хода поршня 9 при всасывании (ход всасывания поршня 9 осуществляется за  $180^{\circ}$  поворота приводного вала 5 и блока цилиндров 7), рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 34 в полости полукольцевого паза 31 и рабочие полости 10. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол  $90^{\circ} \div 180^{\circ}$  – вторая половина хода поршня 9 при всасывании, рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 33 в полости полукольцевого паза 32 и рабочие полости 10.

При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол  $0 \div 90^{\circ}$  – первая половина хода поршня 9 при нагнетании рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 32 и кольцевой канавки 33. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол  $90^{\circ} \div 180^{\circ}$  – вторая половина хода поршня 9 при нагнетании рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 31 и кольцевой канавки 34.

Каждый поршень 9 работает в разных фазах, т.е. всасывает рабочую жидкость в процессе всасывания из полостей кольцевых канавок 33, 34 и нагнетает рабочую жидкость в процессе нагнетания в полости кольцевых канавок 34, 33. Эквивалентный рабочий объем каждого цилиндра формируется как произведение площади каждого цилиндра блока цилиндров 7 на величину эффективного хода поршня 9 на такте нагнетания. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 7 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в полостях кольцевых канавок 33, 34 нет. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1, равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 минимальная – нулевая.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7 с втулкой 8 и солнечной шестерней 14. Солнечная шестерня 14 приводит во вращение сателлиты 16, которые взаимодействуют с короной шестерней 15. При неподвижной коронной шестерне 15 водило 17, с осями сателлитов 16 и промежуточным валом 18 вращается в направлении вращения солнечной шестерни 14 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением промежуточного планетарного редуктора 3. При нулевой подаче аксиально-поршневого насоса 1 рабочие полости 23 блока цилиндров 19 запираются, поршни 22 аксиально-поршневого гидромотора 2 блокируются, и наклонная шайба 14 вращает блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25. Солнечная шестерня 25 приводит во вращение сателлиты 28, которые взаимодействуют с короной шестерней 26. Водило с осями сателлитов 28 и ведомым валом 29 вращается в направлении вращения солнечной шестерни 25 со скоростью вращения, опреде-

ляемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4:

$$n_{29} = n_5 (i_3 i_4)^{-1}; i_3 = \frac{n_{14}}{n_{18}}; i_4 = \frac{n_{25}}{n_{29}} > 1, \quad (1)$$

где  $n_5, n_{14}, n_{18}, n_{25}, n_{29}$  – скорость вращения приводного вала 5, солнечной шестерни 14, 25, промежуточного вала 18, ведомого вала 29;  $i_3, i_4$  – передаточное число промежуточного планетарного редуктора 3, выходного планетарного редуктора 4.

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 29 механическим путем.

При повороте ступицы 12 с наклонной шайбой 11 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 13 на  $90^\circ$  по часовой стрелке плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 рабочая жидкость из полости кольцевой канавки 33 поступает в полость полукольцевого паза 32 и рабочие полости 10. При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 31 и кольцевой канавки 34. Полость кольцевой канавки 33 является всасывающей, а полость кольцевой канавки 34 – напорной. Каждый цилиндр полный ход поршня 9 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из полости кольцевой канавки 33 и подает ее в полость кольцевой канавки 34. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из полости кольцевой канавки 34 рабочая жидкость поступает по каналу 37 в полость сегментного паза 35, и в рабочие полости 23 блока цилиндров 19 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 22 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 24, поворачивают блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25 относительно оси ОГП. При движении поршней 22 внутрь блока цилиндров 19 рабочая жидкость из рабочих полостей 23 поступает в

полость сегментного паза 36, и по каналу 38 в полость кольцевой канавки 33.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7, и, через промежуточный планетарный редуктор 3, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24. В данном положении наклонной шайбы 11 приводной вал 5, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 и блок цилиндров 19 с солнечной шестерней 25 вращаются в одном, либо различных направлениях в зависимости от соотношения параметров гидропередачи. Солнечная шестерня 25 приводит во вращение сателлиты 28 и приводной вал 29 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4.

$$n_{29} = n_5 \frac{1 - ki_3}{i_3 i_4}, \quad k = \frac{q_n}{q_m}, \quad (2)$$

где  $q_n, q_m$  – объем аксиально-поршневого насоса 1, аксиально-поршневого гидромотора 2;  $k$  – коэффициент, характеризующий отношение объемов насоса 1 и гидромотора 2.

Мощность ведущего вала 5 передается ведомому валу 29 механическим и гидравлическим путями.

Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 40 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 29 часть рабочей жидкости вытекает из канала 39 через предохранительный клапан в бак гидросистемы (не показаны).

При повороте ступицы 12 с наклонной шайбой 11 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 13 на  $90^\circ$  против часовой стрелки плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11. В данном положении наклонной шайбы 11 полость кольцевой канавки 34 является всасывающей, а полость кольцевой канавки 33 напорной. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из полости кольцевой канавки 33 рабочая жидкость поступает по каналу 38 в полость сегментного паза 36, и в рабочие полости 23 блока цилиндров 19 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 22 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 24, поворачивают блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25 относительно оси ОГП. При движении поршней 22 внутрь блока цилиндров 19 рабочая жидкость из рабочих полостей 23 поступает в полость сегментного паза 35, и по каналу 37 в полость кольцевой канавки 34. В данном положении наклонной шайбы 11 приводной вал 5, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 и блок цилиндров 19 с солнечной шестерней 25 вращаются в одном направлении. Ведомый вал 29 вращается со скоростью:

$$n_{29} = n_5 \frac{1 + ki_3}{i_3 i_4}. \quad (3)$$

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 29 механическим и гидравлическим путем.

Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 39 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 29 часть рабочей жидкости вытекает из канала 40 через предохранительный клапан в бак гидросистемы (не показаны).

Параметры режима работы (1), (2), (3) гидродифференциальной передачи при  $n_5 = 2100 \text{ мин}^{-1}$  представлены в таблице 1.

Анализ показывает, что изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения скорости вращения ведомого вала при изменении подачи насоса. Так, например, при  $i_3 = i_4 = 1,5$  и  $k = 1,0$  обеспечивается диапазон изменения скоростей вращения ведомого вала  $n_{29} = (2333 \div -467) \text{ мин}^{-1}$ , что совпадает с параметрами механических трансмиссий транспортно-тяговых машин.

Таблица 1. Скорость вращения ведомого вала  $n_{29}$  ( $\text{мин}^{-1}$ )

$i_3$	$k$						
	против часовой стрелки				по часовой стрелке		
	1,0	0,6	0,2	0	0,2	0,6	1,0
$i_4 = 3,0$							
1,0	1400	1120	840	700	560	280	0
2,0	1050	770	490	350	210	-70	-350
4,0	875	595	315	175	35	-245	-525
$i_4 = 2,0$							
1,0	2100	1680	1260	1050	840	420	0
2,0	1575	1155	735	525	315	-105	-525
4,0	1313	893	473	263	53	-368	-788
$i_4 = 1,0$							
1,0	4200	3360	2520	2100	1680	840	0
2,0	3150	2310	1470	1050	630	-210	-1050
4,0	2625	1785	945	525	105	-735	-1575
знак (-) – реверсирование ведомого вала 29							

При повороте наклонной шайбы *11* на  $90^\circ$  от нейтрального положения по часовой стрелке и против обеспечивается реверсирование подачи аксиально-поршневого насоса *1* переменной производительности при изменении ее от нулевого до максимального значений. ОГП обеспечивает передачу мощности приводного вала *5* на ведомый вал *29* двумя потоками: гидравлическим через рабочую жидкость и механическим через приводной вал *5*, промежуточный вал *18* с наклонной шайбой *24* и блок цилиндров *19*. Разделение потока мощности внутреннее.

Положительным фактором ОГП является относительно простая конструктивная схема, что может оказаться определяющим при разработке ОГП для привода ходового оборудования роботизированных систем технологического назначения.

## Литература

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
2. Котлобай, А. Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–176.
3. Гидродифференциальная передача: пат. 22682 С1 Респ. Беларусь, F 16Н 39/10 (2006.01) // Заявители: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»; Белорусский национальный технический университет (ВУ); Авторы: Поддубный Алексей Алексеевич; Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич; Герасимюк Александр Иванович; Куксо Аркадий Михайлович (ВУ); Патентообладатели: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»; Белорусский национальный технический университет (ВУ) – № а 20180149; заявл. 2018.04.20; опубл. 2019.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 4.