

Гидродифференциальная передача отдельно агрегатная на базе шестеренных гидромашин

Котлобай А. Я., Котлобай А. А., Юнусов Ю. Ш., Григоренко С. В.
Белорусский национальный технический университет

Объёмная гидропередача (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных дорожно-строительных машин [1], колесных и гусеничных машин инженерного вооружения [2] позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости пневмоколесного и гусеничного движителей, расширяет возможности компоновочных решений. Базовые машины оснащаются ОГП для работы в технологическом режиме с навесным инженерным оборудованием [3]. Находят применение дифференциальные трансмиссии, в том числе ОГП с внутренним разветвлением потока мощности, обеспечивающие необходимый диапазон изменения передаточных отношений. Наряду с моно агрегатными ОГП существует потребность поиска технических решений гидродифференциальных ОГП отдельно агрегатных, насосная и моторная установки которых разнесены в соответствии с компоновочными решениями машины.

При анализе показателей материалоемкости и удельной стоимости насосов [4] получено, что минимальной материалоемкостью и удельной стоимостью обладают шестеренные гидромашинки, применение которых в качестве насосов в составе ОГП ограничено отсутствием технических решений по регулированию эквивалентного объема насоса и реверсирования потока рабочей жидкости. Одним из возможных направлений активизации работ по созданию гаммы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности является возможность использования шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля, регулирующего эффективный рабочий объем насоса шестеренного [5], [6], [7].

ОГП включает два основных агрегата [8]: насосный и моторный, выполненные отдельно (*рисунок 1*). Насосный агрегат содержит двухсекционный шестеренный насос 1 постоянного объема, гидрораспределительный модуль 2. Моторный агрегат содержит гидромоторы постоянного объема: шестеренный 3, аксиально-поршневой 4, редукторы: промежуточный планетарный редуктор 5, выходной планетарный редуктор 6.

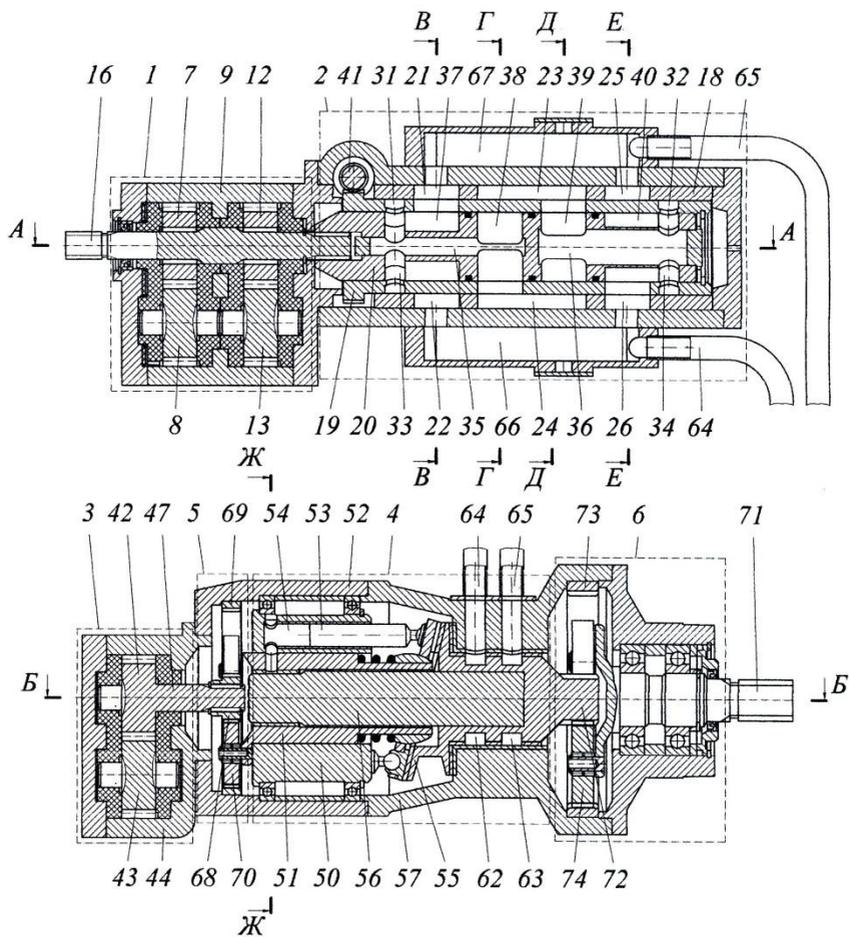


Рис. 1. ОГП раздельно агрегатная

Первая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 7, 8, образующие в корпусе 9 насоса всасывающую 10 и напорную 11 полости. Вторая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 12, 13, образующие в корпусе 9 всасывающую 14 и напорную 15 полости. Шестерни 7, 12 связаны шлицевыми соединениями с приводным валом 16.

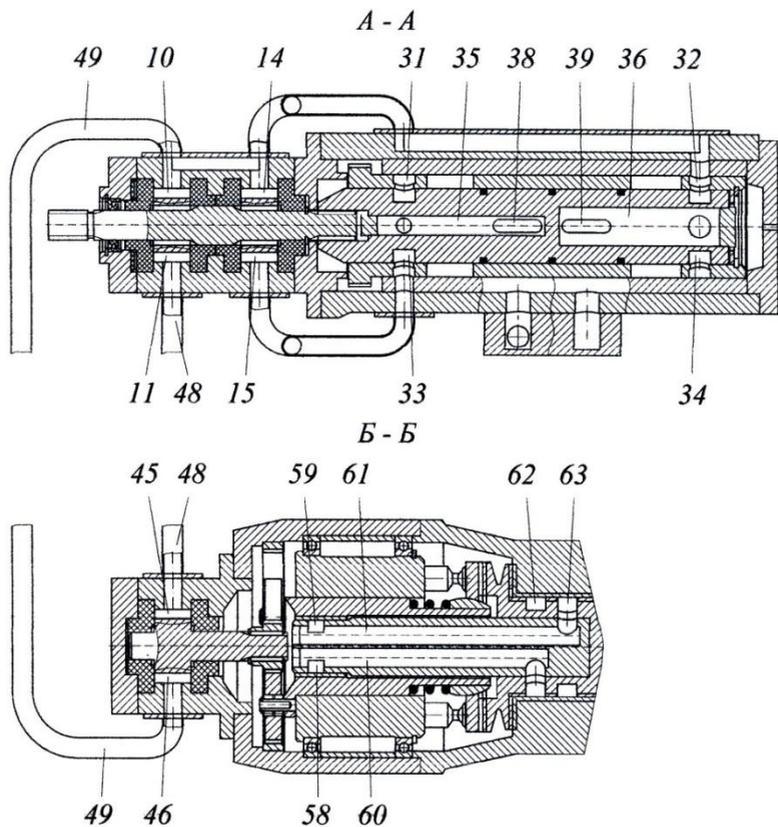


Рис. 1 (продолжение). ОГП раздельно агрегатная

Гидрораспределительный модуль 2 выполнен в корпусе 17, включает неподвижную распределительную втулку 18, подвижную распределительную втулку 19, и ротор 20, связанный с приводным валом 16.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 18 образованы шесть сегментных пазов 21, 22, 23, 24, 25, 26, при этом пазы связаны внутри групп 21, 24, 25 и 22, 23, 26.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 19 образованы четыре группы продольных каналов 27, 28, 29, 30, и две кольцевые канавки 31, 32.

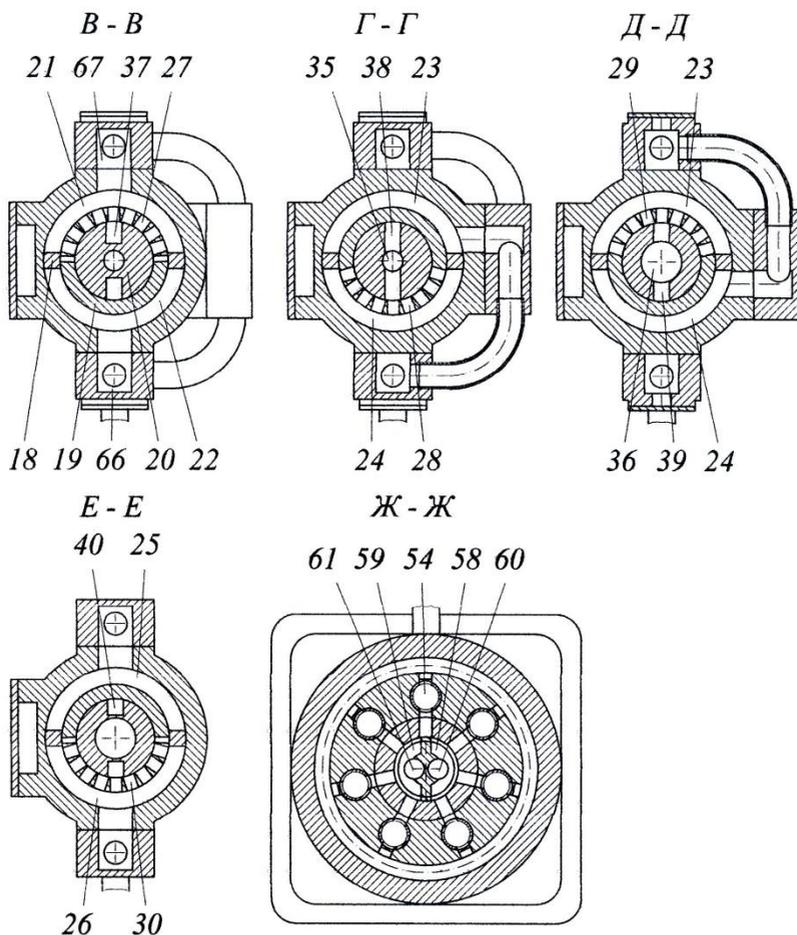


Рис. 1 (продолжение). ОГП раздельно агрегатная

На цилиндрической поверхности ротора 20 образованы две кольцевые канавки 33, 34, и по оси ротора 20 – два продольных канала 35, 36 с полостями, связанными с полостями кольцевых канавок 33, 34. На цилиндрической поверхности ротора 20 образованы четыре группы продольных каналов 37, 38, 39, 40. Полости продольных каналов 37, 40 связаны с полостями кольцевых канавок 33, 34. Полости продольных каналов 38, 39 связаны

с полостями продольных каналов 35, 36. Кольцевые канавки 33, 34 связаны с кольцевыми канавками 31, 32.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 19 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 41 осуществляется автономным двигателем.

Напорная полость 15 связана с полостью кольцевой канавки 31. Полость кольцевой канавки 32 связана с всасывающими полостями 14, 10 второй и первой секций шестеренного насоса 1.

Гидромотор 3 шестеренный постоянного объема содержит шестерни 42, 43, образующие в корпусе 44 гидромотора 3 напорную 45 и сливную 46 полости. Вал 47 гидромотора 3 выполнен заодно с шестерней 42. Напорная полость 45 связана трубопроводом 48 с напорной полостью 11 первой секции шестеренного насоса 1. Сливная полость 46 связана трубопроводом 49 с всасывающими полостями 10, 14 шестеренного насоса 1.

Аксиально-поршневой гидромотор 4 постоянного объема включает блок цилиндров 50, связанный с втулкой 51, установленный по наружной поверхности в подшипниковом узле корпуса 52. Поршни 53 образуют рабочие полости 54 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 55, в ступице которой закреплена ось 56. Ступица наклонной шайбы 55 и ось 56 установлены по наружной образующей поверхности в подшипниковых узлах скольжения корпуса 57 и втулки 51. Корпусы 44, 52, 57 соединены.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 4 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 58, 59 с центральными углами 180° , образованную на наружной поверхности оси 56. Рабочие полости 54 связаны с полостями сегментных пазов 58, 59, связанных каналами 60, 61 с полостями кольцевых канавок 62, 63, образованных на поверхности ступицы наклонной шайбы 55. Полости кольцевых канавок 62, 63 связаны каналами, трубопроводами 64, 65 с каналами 66, 67, связывающих в свою очередь группы сегментных пазов 22, 23, 26 и 21, 24, 25.

Промежуточный планетарный редуктор 5 установлен в кинематической линии связи вала 47 гидромотора 3 и втулки 51 блока цилиндров 50. Редуктор 5 включает солнечную шестерню 68, установленную на валу 47, и связанную с ним шлицевым соединением, коронную шестерню 69, установленную в корпусе 52, сателлиты 70, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 51.

Выходной планетарный редуктор 6 установлен в кинематической линии связи ступицы наклонной шайбы 55 и ведомого вала 71, установленного в подшипниковом узле крышки корпуса 57. Редуктор 6 включает солнечную шестерню 72, выполненную заодно со ступицей наклонной шайбы 55, коронную шестерню 73, установленную в корпусе 57, сателли-

ты 74, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 71.

При подготовке ОГП к работе контур подпитки (не показан) подключается к каналам 66, 67.

Приводной вал 16 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 7, 8 и 12, 13. Ротор 20 гидрораспределительного модуля 2 приводится во вращение от приводного вала 16.

Рабочая жидкость из полостей продольных каналов 39, 40 по каналу 36 поступает в полости кольцевых канавок 34, 32, и далее, во всасывающие полости 10, 14 первой и второй секций шестеренного насоса 1. Далее, жидкость во впадинах шестерен 7, 8 и 12, 13 поступает в напорные полости 11, 15.

Из напорной полости 11 первой секции шестеренного насоса 1 рабочая жидкость по трубопроводу 48, поступает в напорную полость 45 шестеренного гидромотора 3, и во впадинах шестерен 42, 43 рабочая жидкость поступает в сливную полость 46. Вал 47 с солнечной шестерней 68 вращается, приводя во вращение сателлиты 70, водило, выполненное заодно с втулкой 51, и блок цилиндров 50. Из сливной полости 46 рабочая жидкость по трубопроводу 49 поступает во всасывающие полости 10, 14. При этом, частота вращения блока цилиндров 50 определяется частотой вращения приводного вала 16, соотношением объемов первой секции шестеренного насоса 1, шестеренного гидромотора 3, передаточным отношением промежуточного планетарного редуктора 5.

Из напорной полости 15 второй секции шестеренного насоса 1 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 31, 33 и продольных каналов 35, 37, 38.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 19 рабочая жидкость из полостей продольных каналов 37, 38 через продольные каналы 27, 28 поступает в полости сегментных пазов 21, 24, и по каналу 67, трубопроводу 65 – в полость кольцевой канавки 63. Из полости кольцевой канавки 63 рабочая жидкость по каналу 61 поступает в полость сегментного паза 59 и в рабочие полости 54 блока цилиндров 50 гидромотора 4. В данном положении подвижной распределительной втулки 19 обеспечивается максимальный эффективный объем второй секции шестеренного насоса 1 и максимальная подача рабочей жидкости в полость сегментного паза 59. Поршни 53 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 55, поворачивают наклонную шайбу 55 со ступицей и осью 56, солнечную шестерню 72, сателлиты 74, водило с ведомым валом 71 относительно оси ОГП в направлении, противоположном направлению вращения блока цилиндров 50.

Скорость вращения ведомого вала 71 при заданной скорости вращения приводного вала 16 и передаточное число ОГП:

$$n_{71} = n_{16} \left(\frac{k_1 + k_2 k i_3}{i_3 i_4} \right), \text{ или } i = \frac{i_3 i_4}{k_1 + k_2 k i_3}, \quad (1)$$

$$i = \frac{n_{16}}{n_{71}}, \quad i_3 = \frac{n_{68}}{n_{50}}, \quad i_4 = \frac{n_{72}}{n_{71}}, \quad k_1 = \frac{q_{11}}{q_3}, \quad k_2 = \frac{q_{12}}{q_4}, \quad k = \frac{q_\varphi}{q_{12}},$$

где i, i_3, i_4 – передаточное число ОГП, планетарного редуктора 3, 4;

$n_{16}, n_{50}, n_{68}, n_{71}, n_{72}$ – скорость вращения приводного вала 16, блока цилиндров 50 гидромотора 4, солнечной шестерни 68 планетарного редуктора 3, ведомого вала 71, солнечной шестерни 72 планетарного редуктора 4;

k_1 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов первой секции насоса 1 и гидромотора 3;

k_2 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов второй секции насоса 1 и гидромотора 4;

k – коэффициент, характеризующий отношение эквивалентного и конструктивного объемов второй секции насоса 1 (диапазон изменения $k = -1 \div +1$);

q_{11}, q_{12}, q_3, q_4 – конструктивный объем первой, второй секции насоса 1, гидромоторов 3, 4;

q_φ – эффективный объем второй секции насоса 1, определяемый углом поворота подвижной распределительной втулки 19.

В выражении (1) не учитывается объемный КПД гидромашин.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 19 обеспечен режим работы ОГП с коэффициентом $k = -1$.

При движении поршней 53 внутрь блока цилиндров 50 рабочая жидкость из рабочих полостей 54 поступает в полость сегментного паза 58, и по каналу 60 в полость кольцевой канавки 62. Из полости кольцевой канавки 62 рабочая жидкость по трубопроводу 64, каналу 66 поступает в полости сегментных пазов 22, 23, 26, и далее, по продольным каналам 29, 30, 39, 36, 40 – в полости кольцевых канавок 34, 32, и далее, во всасывающие полости 10, 14 первой и второй секций насоса 1.

При повороте подвижной распределительной втулки 19 посредством автономного двигателя и червяка 41 на угол 90° , по часовой стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 27, 28 переместятся в зоны сегментных пазов 22, 23, а половина продольных каналов 27, 28 останется в зоне сегментных пазов 21, 24. Также, половина продольных каналов 29, 30 переместятся в зоны сегментных пазов 24, 25, а половина продольных каналов 29, 30 останется в зоне сегментных пазов 23, 26.

В данном положении подвижной распределительной втулки 19 обеспечивается минимальный (нулевой) эффективный объем второй секции насоса шестеренного 1 и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в магистрали гидромотора 4 (режим работы ОГП с коэффициентом $k = 0$). При нулевой подаче второй секции насоса 1 рабочие полости 54 блока цилиндров 50 запираются, поршни 53 гидромотора 4 блокируются, и блок цилиндров 50 с втулкой 51 вращает наклонную шайбу 55 в направлении вращения приводного вала 16 со скоростью и передаточным числом, определяемыми выражениями (1) при коэффициенте $k = 0$.

При повороте подвижной распределительной втулки 19 на угол 180° от исходного положения, продольные каналы 27, 28 переместятся в зоны сегментных пазов 22, 23, а продольные каналы 29, 30 – в зоны сегментных пазов 24, 25. В данном положении подвижной распределительной втулки 19 подача рабочей жидкости второй секции насоса 1 реверсирована. Обеспечивается максимальный эффективный объем второй секции насоса шестеренного 1 и максимальная подача рабочей жидкости в магистрали гидромотора 4. Скорость вращения ведомого вала 71 (1) и передаточное число ОГП определяются при режиме работы с коэффициентом $k = +1$.

Параметры работы (1) ОГП отдельно агрегатной представлены в таблице 1.

Таблица 1

Передаточное число ОГП отдельно агрегатной

$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 3$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,33	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-4,5	-6,4	-45,0	∞	22,5	9,0	5,6	3,2	2,3
4	-6,0	-8,6	-60,0	∞	30,0	12,0	7,5	4,3	3,0
5	-7,5	-10,7	-75,0	∞	37,5	15,0	9,4	5,4	3,8
$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 4$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,25	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-4,0	-5,5	-20,0	∞	60,0	12,0	6,7	3,5	2,4
4	-5,3	-7,3	-26,7	∞	80,0	16,0	8,9	4,7	3,2
5	-6,7	-9,1	-33,3	∞	100,0	20,0	11,1	5,9	4,0
$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 5$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-3,8	-5,0	-15,0	-30,0	∞	15,0	7,5	3,8	2,5
4	-5,0	-6,7	-20,0	-40,0	∞	20,0	10,0	5,0	3,3
5	-6,3	-8,3	-25,0	-50,0	∞	25,0	12,5	6,3	4,2

продолжение таблицы 1

$k_1 = 1,0; k_2 = 0,5; i_3 = 3$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,67	-0,4	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-18,0	-45,0	∞	45,0	12,8	9,0	6,9	4,7	3,6
4	-24,0	-60,0	∞	30,0	17,1	12,0	9,2	6,3	4,8
5	-30,0	-75	∞	41,7	21,4	15,0	11,5	7,9	6,0
$k_1 = 1,0; k_2 = 0,5; i_3 = 4$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,5	-0,4	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-12,0	-60,0	∞	60,0	20,0	12,0	8,6	6,3	4,0
4	-16,0	-80,0	∞	80,0	26,7	16,0	11,4	8,4	5,3
5	-20,0	-100,0	∞	100,0	33,3	20,0	14,3	10,5	6,7
$k_1 = 1,0; k_2 = 0,5; i_3 = 5$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-10,0	-15,0	-30,0	∞	30,0	15,0	10,0	6,0	4,3
4	-13,3	-20,0	-40,0	∞	40,0	20,0	13,3	8,0	5,7
5	-16,7	-25,0	-50,0	∞	50,0	25,0	16,7	10,0	7,1
$k_1 = 0,5; k_2 = 0,5; i_3 = 3$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,33	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-9,0	-12,9	-90,0	∞	45,0	18,0	11,3	6,4	4,5
4	-12,0	-17,1	-120,0	∞	60,0	24,0	15,0	8,6	6,0
5	-15,0	-21,4	-150,0	∞	75,0	30,0	18,8	10,7	7,5
$k_1 = 0,5; k_2 = 0,5; i_3 = 4$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,25	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-8,0	-10,9	-40,0	∞	120,0	24,0	13,3	7,1	4,8
4	-10,7	-14,5	-53,3	∞	160,0	32,0	17,8	9,4	6,4
5	-13,3	-18,2	-66,7	∞	200,0	40,0	22,2	11,8	8,0
$k_1 = 0,5; k_2 = 0,5; i_3 = 5$									
i_4	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
3	-7,2	-10,0	-30,0	-60,0	∞	30,0	15,0	7,5	5,0
4	-10,0	-13,3	-40,0	-80,0	∞	40,0	20,0	10,0	6,7
5	-12,5	-16,7	-50,0	-100,0	∞	50,0	25,0	12,5	8,3

Изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения передаточного числа при изменении эффективного объёма второй секции насоса шестерённого 1.

Применение простого и мало материалоемкого насосного агрегата в составе шестерённого насоса и гидрораспределительного модуля 2 позволит существенно уменьшить сложность и материалоемкость ОГП. Применение в составе ОГП двухсекционного шестерённого насоса 1 с регулированием эффективного объёма одной секции позволяет существенно увеличить диапазон изменения скоростей ведомого вала 71 при заданной скорости приводного вала 16 и диапазон изменения передаточных чисел ОГП при необходимом соотношении передаточных чисел ОГП прямого хода и реверса.

Литература

1. Леонович, И. И. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: учебник / И. И. Леонович, А. Я. Котлобай. – Минск : БНТУ, 2005. – 552 с.

2. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъёмно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. / С. В. Кондратьев, А. Я. Котлобай [и др.]; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск : БНТУ, 2015 – Ч. 1 : Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоления заграждений. – 2015. – 376 с.

3. Тяжелый многоцелевой гусеничный транспортер-тягач МТ-Т. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 429АМ.00Сб ТО / П. И. Сагир [и др.]. – М. : Воениздат, 1988. – 446 с.

4. Котлобай, А. Я. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, А. И. Герасимюк, В. Ф. Тамело, В. В. Грубеляс // Инженер-механик. – 2017. – №1 (74). – С. 10–17.

5. Котлобай, А. Я. Модернизация шестеренных насосов приводов оборудования инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. – №4 (85). – С. 17–20.

6. Котлобай, А. Я. Насосы шестеренные регулируемые гидравлических приводов оборудования инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2020. – №1 (86). – С. 10–14.

7. Насос шестеренный: пат. 12158 U, Республика Беларусь, МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. И. Герасимюк, С. И. Воробьев, Д. И. Кузнецов, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай (BY). № u 20190068; заявл. 2019.03.21;

опубл. 2019.12.30 // Афіцыйны бюл. Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 6.

8. Котлобай, А. Я. Объемная гидропередача отдельно агрегатная на базе двухсекционных шестеренных гидромашин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. – №3 (84). – С. 5–9.

УДК 69.05–82–229.384

Объемная гидропередача привода ходового оборудования транспортно-тяговой машины

Котлобай А. Я., Котлобай А. А., Волчкович А. В.
Белорусский национальный технический университет

Применение объемных гидропередач (ОГП) в приводах ходового оборудования транспортно-тяговых машин является одним из прогрессивных направлений. ОГП позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости пневмоколесного и гусеничного движителя, расширяет возможности компоновочных решений [1]. Современные ОГП реализуются на базе аксиально-поршневых гидромашин. Одним из недостатков ГСТ является малый диапазон регулирования скорости вращения вала гидромотора. Для расширения диапазона регулирования скорости вращения вала гидромотора применяют регулируемые гидромоторы, существенно усложняя конструкцию ОГП [2]. При создании ряда технологических машин для привода ходового оборудования нашли применение гидростатические трансмиссии ГСТ-71, ГСТ-90 [3].

Анализ показал, что минимальной материалоёмкостью и удельной стоимостью обладают шестерённые гидромашин, широко используемые в системах отбора мощности на позиционирование и привод рабочих органов технологических машин [4], [5]. Для применения шестерённых гидромашин в приводах ходового оборудования транспортно-тяговых машин авторами предложено оснащение шестерённого насоса постоянного объёма гидрораспределительным модулем обеспечивающим изменение эффективного объёма насосного агрегата в составе шестерённого насоса постоянного объёма и гидрораспределительного модуля [6] [7] [8]. Также, расширение диапазона изменения скорости вращения вала гидромотора обеспечивается тандемированием шестерённых насосов, широко применяемым в системах отбора мощности на позиционирование и привод рабочих органов технологических машин

Рассмотрим пример реализации ОГП моноагрегатной на базе шестерённых гидромашин (*рисунок. 1*).