



УДК 621.225.001.4

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМАШИН ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГИДРОАГРЕГАТАХ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Волошина А.А., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Аннотация – Работа посвящена анализу существующих конструкций гидромашин, применяемых в гидроагрегатах мобильных машин. Обоснован наиболее перспективный тип гидромашин – с циклоидальной формой вытеснителей.

Ключевые слова – гидроагрегат, мобильная техника, гидравлическая схема, активные рабочие органы, высокомоментный гидромотор, вытеснительный блок, распределительный блок, компенсирующий блок.

Постановка проблемы – Анализ существующих конструкций гидромашин роторного типа позволил установить, что ограниченность исследований в области их разработки, проектирования, изготовления и эксплуатации, указывает на наличие **проблемы** – отсутствие методологии проектирования гидромашин вращательного действия (с унифицированным типом вытеснителей, эффективно заменяющих весь ряд гидромашин).

Анализ последних исследований – Анализируя технические требования к активным рабочим органам с низкой частотой вращения и высоким крутящим моментом можно выявить потребность в гидрофикации следующих их групп [1]: бурильная техника (буры); лесозаготовительная техника (харвестерные и другие головки); коммунальная техника (транспортеры, разбрасывающие диски); и как самый крупный потребитель гидрооборудования – сельскохозяйственная техника: машины для внесения минеральных и органических удобрений (разбрасывающие диски, транспортеры); зерно-, кукурузо-, свекло- и картофелеуборочные комбайны (наклонная камера, соломотряс, транспортеры, битеры, копачи, элеваторы, шнеки); машины для химической защиты (транспортеры, мешалки); плодо- и ягодоуборочные машины (транспортеры, вибраторы, вентиляторы).

Анализ гидравлических схем мобильной техники показал [1], что в состав гидроагрегата привода активных рабочих органов мобильной



техники, как правило, входят: приводной двигатель, нерегулируемый шестеренный насос, предохранительный клапан непрямого действия и высокомоментный низкооборотный гидромотор роторного типа.

К основным требованиям, которые предъявляются к гидравлическим машинам, которые применяются в гидроагрегатах мобильных машин относятся [3]: обеспечение необходимой производительности, мощности или крутящего момента при заданном давлении и максимальном КПД, минимальные габаритные размеры и вес, минимальная сложность и трудоемкость изготовления, надежность работы и большой ресурс, легкость монтажа, простота эксплуатации. Более всего перечисленным требованиям удовлетворяют роторные гидравлические машины, имеющие различные: формы контура рабочей полости: эпитрохоиду (эпициклоиду), гипотрохоиду (гипоциклоиду), шестерню с внутренним зубом различного профиля; конфигурации зубьев вытеснителей (ротора или статора): элементы эпитрохоиды (эпициклоиды), элементы гипотрохоиды (гипоциклоиды), логарифмическую кривую, круговой профиль; виды движения основных рабочих органов: планетарное движение внутреннего ротора, планетарное движение внешнего ротора, вращение внутреннего и внешнего вытеснителей вокруг своих центров; виды кинематической связи ротора с выходным валом: непосредственная жесткая связь, при помощи эксцентрика, зубчатого зацепления или шарнирного и шлицевого соединения; способы синхронизации движения ротора: без силового контакта роторов или ротора с поверхностью рабочей полости статора, посредством взаимодействия роторов или ротора со статором; способы распределения рабочей жидкости: торцевое распределение путем вращающегося или неподвижного торцевого распределителя, внутреннее распределение через отверстия и каналы внутреннего ротора, внешнее распределение через отверстия и каналы в теле статора или внешнего ротора, распределение при помощи цапфенного распределителя, комбинированное распределение; по реверсивности: реверсивные и нереверсивные; по регулируемости: регулируемые и нерегулируемые; по величине крутящего момента и скорости вращения выходного вала: высокомоментные низкооборотные и низкомоментные высокооборотные.

На сегодняшний день наиболее широкое применение в гидроприводах вращательного действия мобильной техники получили аксиально-поршневые, шестеренные и сравнительно новые планетарные и героторные гидромашины [2-5].

Анализ конструктивных особенностей роторных гидромашин показал [2], что несмотря на разнообразие гидромашин, используемых в приводах активных рабочих органов мобильной техники только планетарные гидромашины допускают форсирование по давлению, они, в зависимости от кинематической схемы работы вытеснителей



могут быть быстро- или тихоходными и могут работать с высоким КПД во всем диапазоне регулирования. Эти качества планетарных гидромашин обеспечивают возможность получения в них больших пусковых моментов и работы на самой низкой частоте вращения при заданной мощности. Поэтому при рассмотрении различных типов гидромашин, обуславливающих технический уровень современного силового гидропривода мобильной техники, наибольшего внимания заслуживают гидравлические машины планетарного типа.

Цель работы – Повышение эксплуатационной эффективности мобильной техники путем разработки комплексных мероприятий в области проектирования и совершенствования гидромашин вращательного действия (с унифицированным типом вытеснителей).

Основная часть – Для комплексного решения предъявляемых к гидромашинам требований необходимы принципиально новые решения. Более всего перечисленным требованиям удовлетворяют планетарные гидравлические машины.

Самыми распространенными планетарными гидромашинами, имеющими довольно простую конструкцию являются героторные гидромашини, в которых охватывающий 1 и охватываемый 2 вытеснители (рис. 1, а), образующие пару с внутренним гипоциклоидальным зацеплением, вращаются вокруг своих центров, образуя, таким образом, гидромашину со смещенными роторами.

Более сложную конструкцию имеют планетарные гидромашини с круговым профилем вытеснителей (рис. 1, б), когда центр подвижного (охватываемого) вытеснителя описывает окружность 3 вокруг центра неподвижного (охватывающего) вытеснителя.

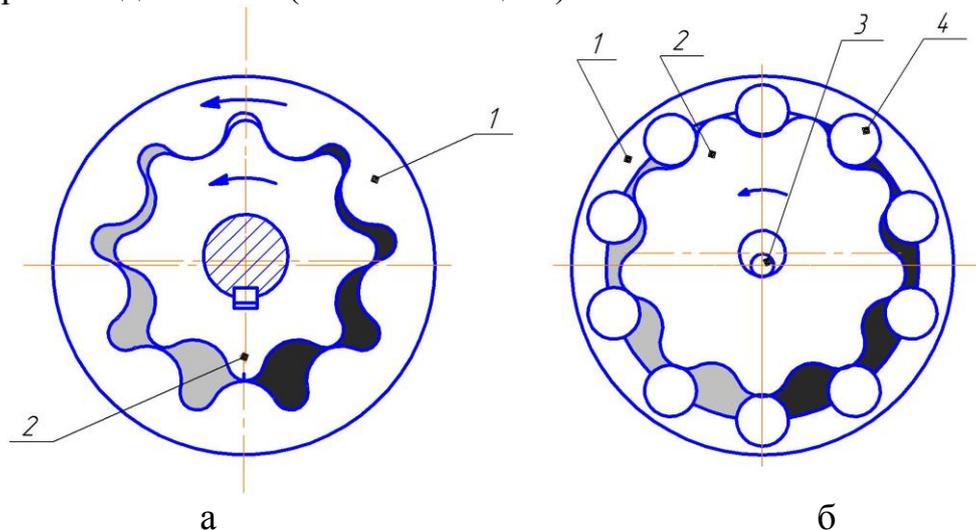


Рис. 1. Схемы гидромашин с различным контуром рабочей полости: а – с гипоциклоидальным профилем вытеснителей; б – с круговым профилем вытеснителей; 1 – охватывающий вытеснитель, 2 – охватываемый вытеснитель, 3 – эксцентрики; 4 – зубья.



Планетарные гидромашины относятся к роторным машинам объемного действия. В этих машинах вытеснителем рабочей жидкости является непосредственно ротор 2 (рис. 1), совершающий сложное планетарное движение. Эти машины, по существу, аналогичны шестеренным (со специальным профилем зубьев [1,2]) с внутренним зацеплением шестерен. Однако они отличаются от обычных шестеренных гидромашин с эвольвентным зацеплением.

Основным узлом планетарных гидромашин (рис. 1) являются ротор 2 (охватываемый вытеснитель) и направляющая 1 (охватывающий вытеснитель), которые образуют силовое соединение. В основу конструкции силового соединения заложен принцип работы зубчатой пары с внутренним гипоциклоидальным зацеплением [3,5,6], при этом число зубьев охватывающей шестерни на 1 зуб больше числа зубьев охватываемой шестерни, а непрерывный контакт зубьев, обеспечивающий отделение зоны нагнетания от зоны слива в этой зубчатой паре обеспечивается одновременно с условием обкатки.

При множестве различных конструктивных исполнений планетарные гидромашины можно объединить по трем основным узлам, определяющим эксплуатационную эффективность этих гидромашин: вытеснительному блоку со специальным циклоидальным профилем вытеснителей; распределительному блоку, создающему вращающее гидравлическое поле (необходимое для получения планетарного движения вытеснителей); блоку, компенсирующему планетарное движение ротора.

В зависимости от способа преобразования плоскопараллельного (планетарного) движения подвижного (охватываемого) вытеснителя в концентричное вращение выходного вала, кинематические схемы планетарных гидромашин отличаются преобразующим механизмом и могут быть четырех видов [3,4]. В настоящее время, для привода активных рабочих органов мобильной техники, в основном, используются планетарные гидромашины, представленные следующими четырьмя кинематическими схемами (рис.2).

В гидравлических машинах первой кинематической схемы планетарное движение ротора преобразуется в концентричное вращение выходного вала за счет смещения роторов (рис.2, а); в гидромашинах второй схемы – с помощью дополнительного внешнего зубчатого зацепления (рис. 2,б), в гидромашинах третьей схемы – с помощью карданной передачи (рис.2, в), в гидромашинах четвертой схемы – с помощью внешнего компенсирующего механизма (рис.2, г).

Рассмотренные гидравлические машины в зависимости от кинематической схемы, по которой они собраны, при одних и тех же параметрах вытеснительной системы отличаются рабочими характеристиками.

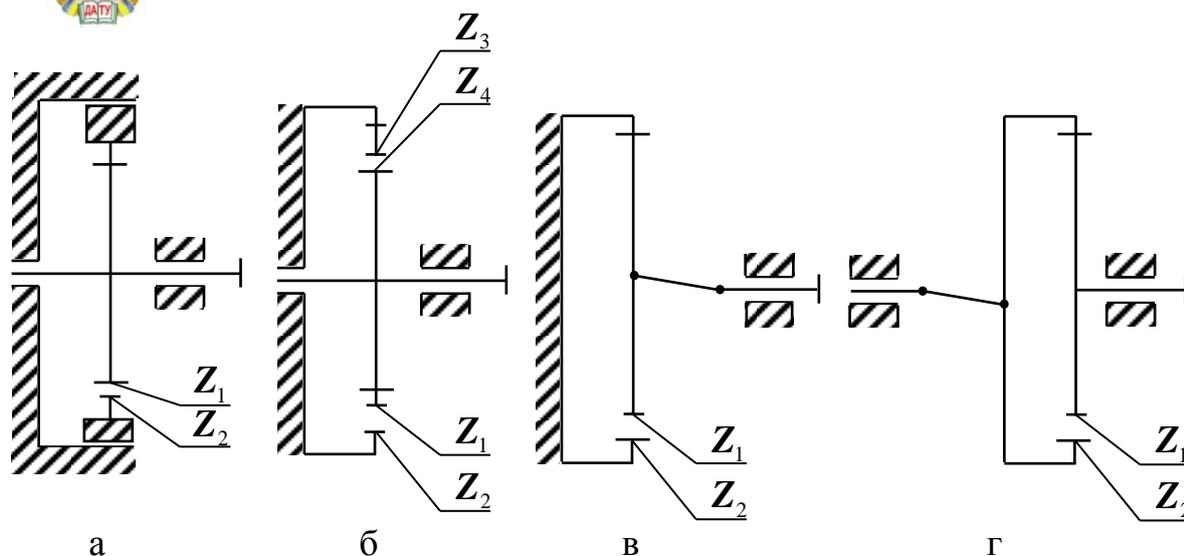


Рис. 2. Схемы компенсирующих механизмов (движения вытеснителей) планетарных гидромашин:

а – схема I, со смещенными роторами;

б – схема II, с дополнительным внешним зубчатым зацеплением;

в – схема III, с карданной передачей;

г – схема IV, с внешним компенсирующим механизмом.

Героторные гидромашинны первой кинематической схемы относятся к высокооборотным низкомоментным гидромашиннам и чаще всего использоваться в режиме насоса, планетарные гидромашинны второй схемы относятся также к высокооборотным низкомоментным гидромашиннам и поэтому могут использоваться как в режиме насоса, так и в режиме высокооборотного гидромотора, гидромашинны третьей схемы чаще всего используются в качестве высокомоментных низкооборотных гидромоторов, а к гидромашиннам четвертой схемы относятся высокомоментные низкооборотные гидравлические вращатели [3-5].

К гидравлическим машиннам первой кинематической схемы (рис. 2, а) относится гидравлическая машинна с двумя вращающимися рабочими органами (роторами), которая получила название героторной, или бироторной. Представителем таких машин является героторный насос типа PGZ выпускаемый фирмой Bosch Rexroth [7] (рис. 3).

Героторные насосы типа PGZ являются гидромашинной с фиксированным смещением роторов. Они в основном состоят из (рис. 3): корпуса 1, вала 2, внутреннего 3 и внешнего 4 роторов, а также соединительной муфты 5 и крышки 6 [7]. В процессе работы вал 2, получая вращение от приводного двигателя передает вращение через соединительную муфту 5 внутреннему ротору 3, находящемуся в зацеплении с внешним ротором 4. При этом внутренний 3 и внешний 4 роторы вращаются в одном направлении с практически одинаковой угловой скоростью (разница чисел зубьев роторов составляет единицу) с очень



маленьким относительным скольжением. Поэтому эти насосы имеют низкую пульсацию потока рабочей жидкости и, следовательно, незначительный шум при работе. Героторные насосы типа PGZ являются самовсасывающими.

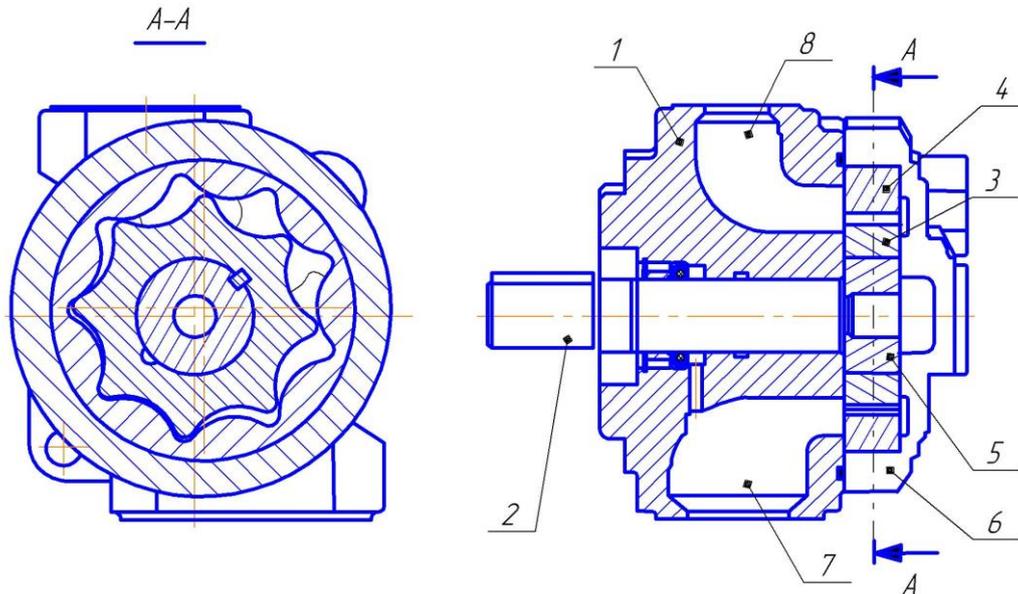


Рис. 3. Героторный насос типа PGZ: 1 – корпус; 2 – вал; 3 – внутренний охватываемый ротор; 4 – внешний охватывающий ротор; 5 – соединительная муфта; 6 – крышка; 7 – входной канал; 8 – выходной канал.

При вращении внутреннего 3 и внешнего 4 роторов против часовой стрелки, рабочие камеры, образованные их зубчатыми поверхностями, увеличивают свой объем, создавая разрежение, необходимое для всасывания рабочей жидкости через входной канал 7 (рис. 3). После чего объем рабочих камер начинает уменьшаться, что сопровождается вытеснением рабочей жидкости под давлением в напорную магистраль через выходной канал 8.

Еще одним представителем гидромашин первой кинематической схемы является героторный насос (рис. 4). У кольцевого охватывающего ротора (колеса) 1 на один зуб больше, чем у внутреннего охватываемого 2 (шестерни). Их оси смещены одна относительно другой на расстояние e (эксцентриситет), обеспечивающее зацепление шестерен в зоне верхней разделительной перемычки. Контакт зубьев при проходе ими нижней разделительной перемычки обеспечивает изоляцию полостей высокого и низкого давлений. Межзубовые впадины сообщаются с входным 6 и выходным 5 каналами с помощью серповидных окон 3 и 4 на боковых крышках. Верхняя цилиндрическая поверхность колеса вращается в подшипниках скольжения [5].

Героторные гидравлические машины могут выполняться с контуром охватывающего элемента (колеса) или с контуром охватываемого



мого элемента (шестерни) в виде любой циклоидальной кривой. Они применяются в качестве насосов для работы при давлениях рабочей жидкости до 14 МПа и частоте вращения вала 30 с^{-1} , а также пригодны для работы в качестве высокооборотных низкомоментных гидромоторов.

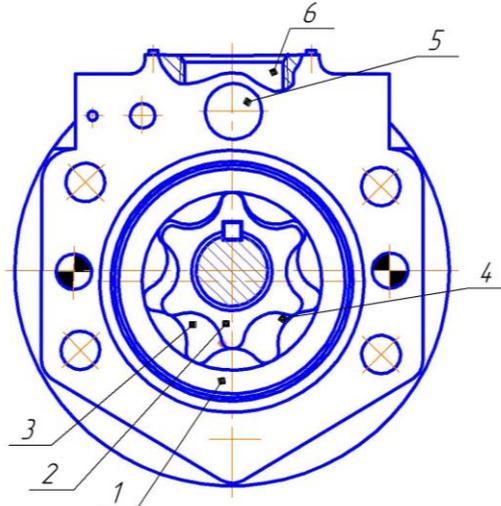


Рис. 4. Героторный насос: 1 – охватывающий ротор; 2 – охватываемый ротор; 3, 4 – серповидные окна; 5 – выходной канал; 6 – входной канал.

Наиболее распространенный в героторных гидромашинах торцевой принцип распределения рабочей жидкости [4,5,8,9]. В торцевых дисках имеются серповидные окна 3 и 4 (рис. 5), связывающие рабочие камеры гидронасоса с полостями нагнетания и всасывания. При положении шестерен, как показано на рис. 5, рабочая камера 5 имеет наибольший объем. Распределительные окна внизу должны быть расположены так, чтобы эта камера не сообщалась ни с полостью нагнетания, ни с полостью всасывания.

В зависимости от направления вращения роторов гидромашины рабочая камера должна сообщаться с тем или другим распределительным окном. Точки касания зубьев внутренней 2 и кольцевой 1 шестерен, ограничивающие рабочую камеру 5 с максимальным объемом, не сопрягаются точно в вершинах. Эти точки определяют границы распределительных окон. Боковые стороны контура распределительных окон находятся как дуги, построенные из центров внутренней и кольцевой шестерен.

Контур распределительных окон могут быть построены так, чтобы впадины внутренней 2 и кольцевой 1 шестерен были вписаны в контур распределительных окон. Расстояние между распределительными окнами сверху (рис. 5) выбираются из условия обеспечения распределения при минимальных утечках рабочей жидкости между распределительными окнами.

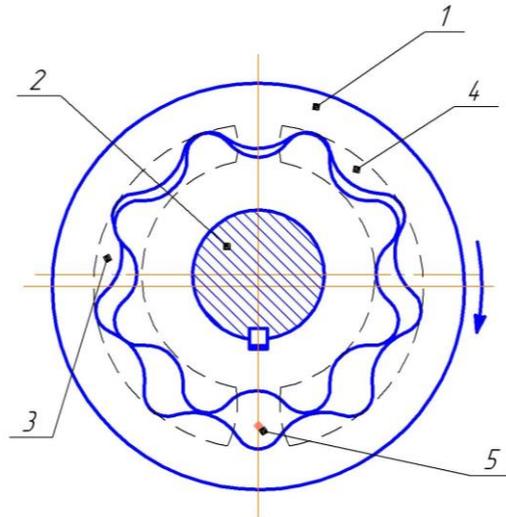


Рис. 5. Схема распределения рабочей жидкости в героторной гидромашине: 1 – охватывающий вытеснитель; 2 – охватываемый вытеснитель; 3, 4 – серповидные распределительные окна; 5 – рабочая камера.

На постсоветском пространстве для приводов активных рабочих органов мобильной сельскохозяйственной техники (это – самый объемный потребитель гидрооборудования) широко использовался разработанный и производимый в СНГ (Сорокский завод «Гидроинпекс», Молдова) планетарный гидромотор серии ГПР-Ф [3,5,9-11], представляющий планетарные гидромашины второй кинематической схемы (рис. 2, б), с рабочим объемом $160 \dots 630 \text{ см}^3$ и мощностью 22 кВт.

Планетарные гидромоторы серии ГПР-Ф являются планетарными реверсивными гидромашинами многократного действия. Они имеют торцевое распределение рабочей жидкости и бескарданную кинематическую схему передачи крутящего момента на выходной вал. Основным узлом данного гидромотора является силовой блок, состоящий [9] из вала 1 (рис. 6), охватываемого 7 и охватывающего вытеснителя 6 с роликами, распределителя 8 и щеки 5. Силовой блок с помощью шарикоподшипников устанавливается в корпусе 4, его осевое перемещение ограничивается передней 2 и задней 10 крышками. Для подвода (отвода) рабочей жидкости в задней крышке 10 установлен золотник 11.

В корпусе 4 (рис. 6) нарезаны зубья эвольвентного зацепления. Установленный эксцентрично охватывающий вытеснитель (ротор) 6 имеет два зубчатых венца – внешний и внутренний. Внешний зубчатый венец с зубьями корпуса 4 образует пару с внутренним зацеплением, а внутренний – входит в зацепление с охватываемым вытеснителем (шестерней) 7 с круговым профилем зуба. Эта пара образует рабочие камеры гидромотора, которые с торцов ограничены распределителем 8 и щекой 5, расположенными на валу 1.

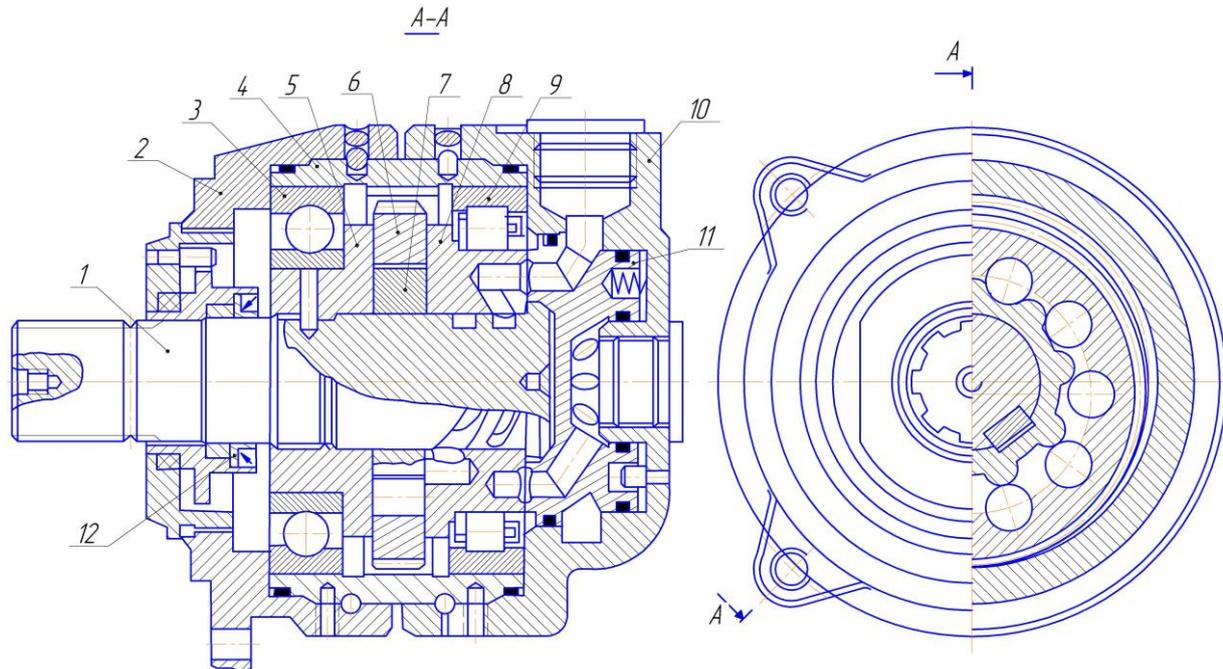


Рис. 6. Планетарний гидромотор серії ГПР-Ф: 1 – вал; 2 – передня крышка; 3 – подшипник радіально-упорний; 4 – корпус; 5 – щека; 6 – охоплюючий витеснитель (ротор); 7 – охоплюваний витеснитель (шестерня); 8 – розподільник; 9 – подшипник роликів радіальний; 10 – задня крышка; 11 – золотник; 12 – ущільнювальний вузол.

Ротор 6 гидромотора совершает сложное движение – одновременно катится по зубчатому венцу шестерни 7 и по зубчатому венцу неподвижного корпуса 4. За один оборот вала ротор совершает шесть обкатываний по зубчатому венцу корпуса. Таким образом, гидромотор серии ГПР-Ф объединяет в себе функции объемной гидромашины и редуктора.

В задней крышке 10 установлен золотник 11, который под действием давления рабочей жидкости из внутренней полости прижимается к рабочей поверхности распределителя 8, в котором имеются подводные каналы. В золотнике имеются каналы, которые через один соединяются с полостями гидромотора. При подаче рабочей жидкости в одну из них жидкость через часть каналов золотника 11 поступает в половину рабочих камер. Под действием давления рабочей жидкости ротор 6 катится по венцу корпуса 4, передавая вращение на выходной вал 1. Отработанная рабочая жидкость из другой половины рабочих камер через каналы золотника 11 вытесняется в сливную магистраль.

Направление и скорость вращения выходного вала 1 определяется направлением потока и количеством подводимой рабочей жидкости.



Конструктивным отличием рассмотренного планетарного гидромотора является наличие высокого давления (нагнетания) между корпусом 4 и силовым блоком, что позволяет достичь высоких значений объемного КПД (0,95...0,98). В этой связи в передней крышке 2 установлен оригинальный уплотнительный узел 12, предназначенный для уплотнения вращающегося выходного конца вала 1 гидромотора от высокого давления в корпусе 4.

На схеме работы распределительной системы планетарной гидромашины (рис. 7) представлен принцип перемещения гидравлического поля, создаваемого распределительной системой [4].

В позиции *a* (рис. 7, а) отражен момент, когда с правой стороны плоскости симметрии *AA* находится зона нагнетания 3 рабочей жидкости, а с левой – зона слива 4 рабочей жидкости. В позиции *б* (рис. 7, б) отражен момент, когда зоны повернуты на 90° , в позиции *в* (рис. 7, в) – на 180° и в позиции *г* (рис. 7, г) – на 270° .

Таким образом, когда гидравлическое поле 5 (рис. 7), создаваемое распределительной системой, сделает полный оборот против часовой стрелки, охватываемый вытеснитель 2 повернется в противоположную сторону (по часовой стрелке) всего на один зуб. Исходя из этого следует, что гидравлическое поле движется параллельно поверхности охватывающего вытеснителя 1, и, следовательно, вращается. Подвижный вытеснитель 2 обкатывается по неподвижному 1 с той же скоростью, что и гидравлическое поле, поворачиваясь при этом в противоположную сторону, т.е. гидравлическое поле выполняет роль кривошипа планетарного редуктора.

В зацеплении с круговым профилем зубьев, разработанным применительно к планетарным гидромашинам, зацепление происходит в двух зонах, расположенных по одну сторону плоскости *AA* (рис. 7). Наличие двух зон контакта обеспечивает при работе гидромашины постоянную герметичность между зонами нагнетания 3 и слива 4.

Еще одним представителем гидромашин планетарного типа, относящихся ко второй кинематической схеме (рис. 2, б) является гидромотор с четырехдуговым гипоциклоидным контуром (рис. 8).

Рассматриваемый гидромотор состоит [3] из цилиндра 4, передней 1 и задней 6 крышек. Передняя крышка 1 (рис. 8) имеет посадочные проточки и резьбовые отверстия для присоединения гидромотора к приводному механизму. Задняя крышка 6 и распределительный диск 5 с распределительными окнами образуют кольцевую распределительную камеру 10.

Распределительная камера 10 через отверстие 7 связана с гидромагистралью. Второй распределительный диск 3, также имеющий распределительные окна, вместе с герметизирующим диском 2 и уплотняющими прокладками образует вторую распределительную



камеру 17, зв'язувану гидромотор с гидромагистралю через центральное отверстие крышки 6, диск 5 и статор 22.

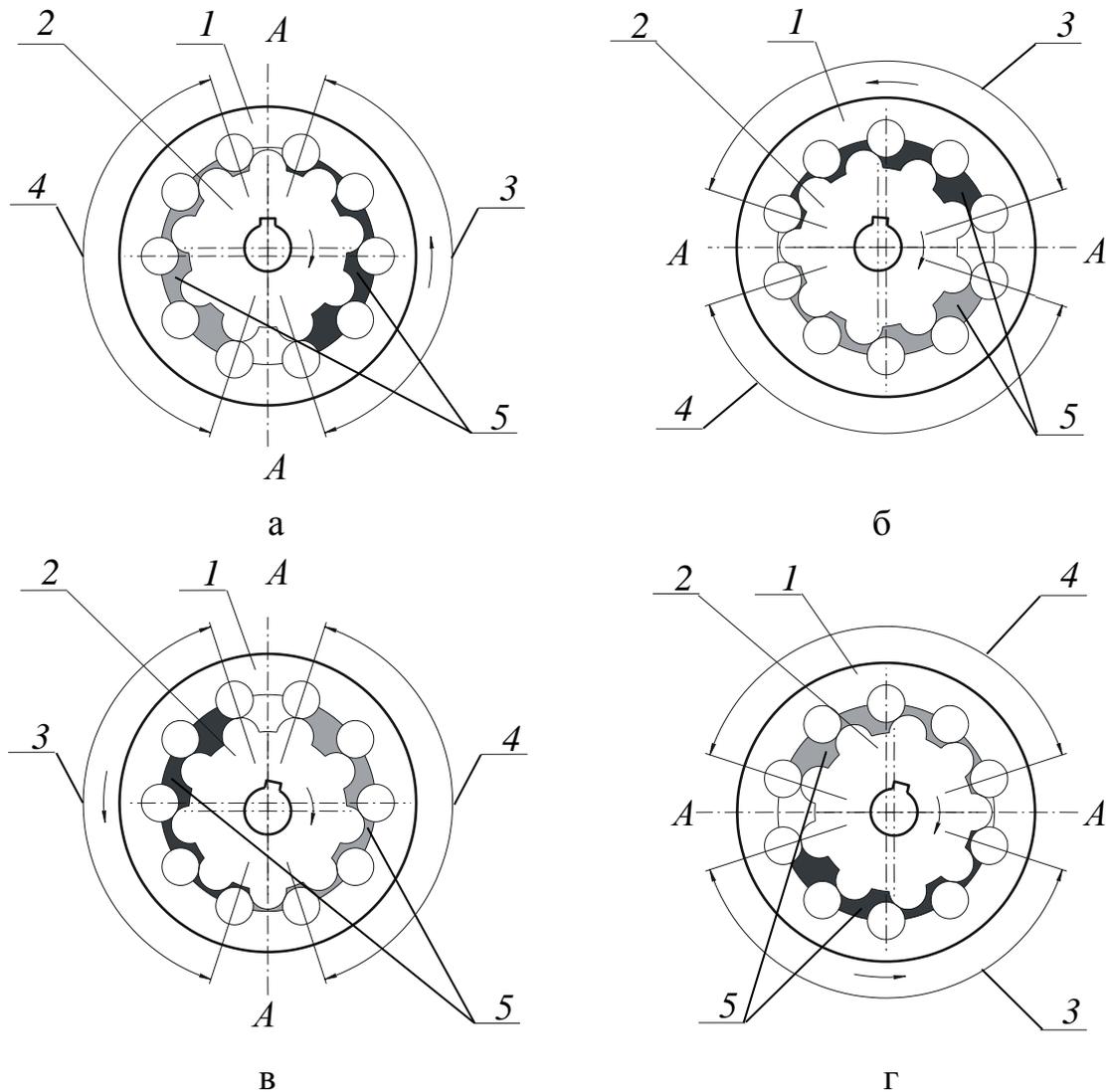


Рис. 7. Схема работы распределительной системы гидромашин планетарного типа: 1 – охватывающий вытеснитель; 2 – охватываемый вытеснитель; 3 – зона нагнетания рабочей жидкости; 4 – зона слива рабочей жидкости; 5 – гидравлическое поле.

Статор выполнен в виде криволинейного выпуклого треугольника (рис.8), в вершинах которого установлены ролики 21, выполняющие роль подшипников скольжения и элементов аппарата, синхронизирующего движение ротора. Ролики 21 имеют полости, через которые проходят винты 9, связывающие диски распределительных камер, статор и крышку корпуса в единое целое. Задняя крышка 6, распределительные камеры 10 и 17, а также ротор 20 и статор 22 образуют силовой гидравлический блок. При вращении ротора 20 три ролика 21 обкатывают контур рабочей полости, не отрываясь от нее и прини-



мая нагрузку со стороны ротора. Рабочий объем гидромашины образуется между поверхностями ротора 20 и статора 22 в виде четырех камер, объем каждой из которых циклически изменяется при вращении ротора 20 от нуля до максимального значения.

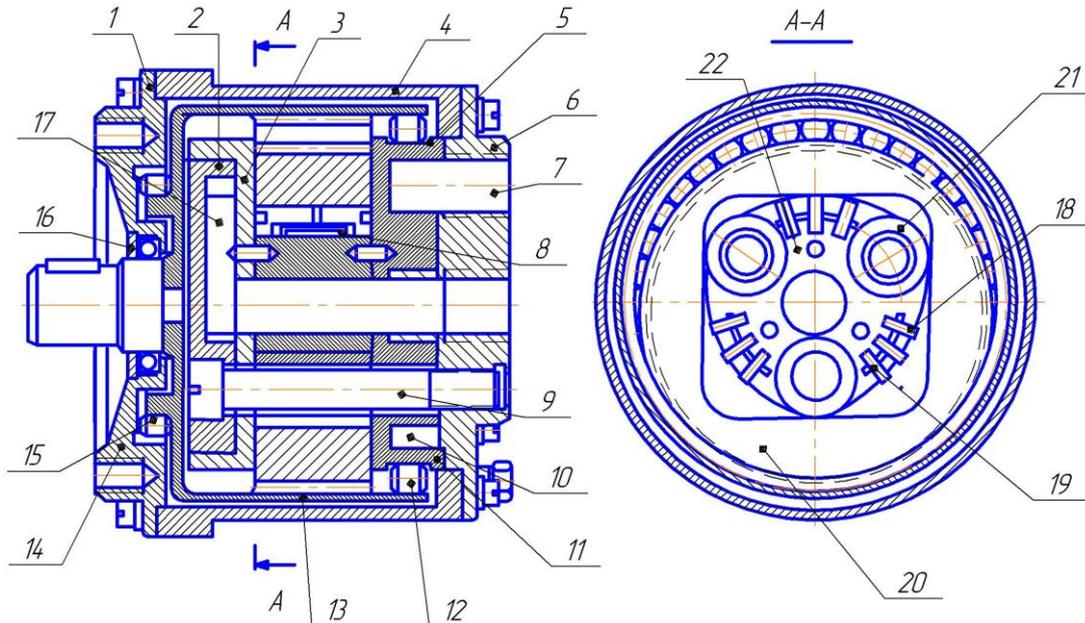


Рис. 8. Планетарный гидромотор с гипоциклоидным контуром рабочей полости: 1 – передняя крышка; 2 – герметизирующий диск; 3, 5 – распределительные диски; 4 – цилиндр; 6 – задняя крышка; 7 – распределительное отверстие; 8 – пружина; 9 – винты; 10, 17 – распределительные камеры; 11 – щека; 12 – ролики; 13 – обойма; 14 – крышка; 15 – ролики; 16 – шайба; 18 – пластины; 19 – направляющие; 20 – ротор; 21 – ролики; 22 – статор.

Из схемы работы распределительной системы [3] видно (рис. 9), что в распределительных дисках имеется шесть окон (три из которых распределительные окна нагнетания 3, а три – слива 4 рабочей жидкости). Через распределительные окна нагнетания 3 рабочая жидкость поступает в рабочие камеры под давлением, а через окна слива 4 – из рабочих камер на слив.

Допустим, что жидкость поступает в рабочие камеры через распределительные окна 3, тогда в рабочей камере IV (рис. 9, а) рабочая жидкость будет иметь рабочее давление, под действием которого ротор 1 будет поворачиваться по часовой стрелке. Объем камеры II уменьшится, так как рабочая жидкость поступит на слив, а объем камеры III достигнет максимального значения. В рассматриваемом случае окна нагнетания 3 и слива 4 перекроются ротором 1 и не будут сообщаться с рабочей камерой. Объем камеры I достигнет минимального значения, окна нагнетания 3 и слива 4 также не будут сообщаться с этой рабочей камерой.

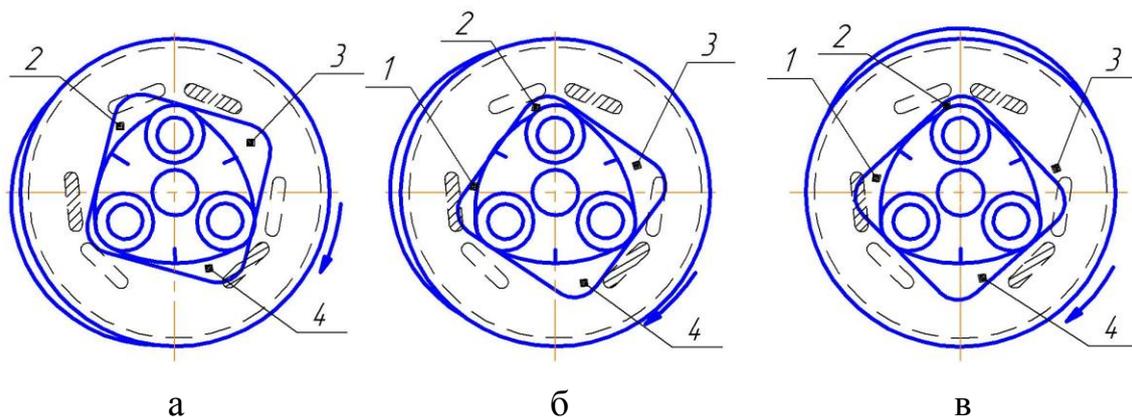


Рис. 9. Схема работы распределительной системы: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – распределительные окна нагнетания; 4 – распределительные окна слива.

В следующий момент (рис. 9, б) ротор 1 откроет в камере III окно слива 4, так как ее объем начнет уменьшаться, а в камере I – окно нагнетания 3, объем которого начнет увеличиваться. В камере II закончится процесс слива и ее объем будет близок к минимальному, окно слива 4 будет еще открыто. В камере IV процесс нагнетания будет продолжаться, а объем – увеличиваться. Под действием давления рабочей жидкости в камерах I и IV ротор 1 продолжает вращаться по часовой стрелке.

Положение, которое займет ротор 1 после поворота от первоначального положения на угол 30° (рис. 9, в), аналогично положению ротора (рис. 9, а) за исключением того, что объем рабочей камере IV будет максимальным, а камеры II – минимальным. Вращающий момент в данном случае будет иметь прежний знак. При повороте ротора 1 еще на угол 30° максимальный объем будет в камере I, а минимальный – в камере III и т.д. Всего за полный оборот ротора происходит 12 рабочих циклов. Если рабочую жидкость подводить к другой группе окон, то ротор будет вращаться в противоположном направлении.

Ротор 20 (рис. 8), вращаясь, находится в гидравлически разгруженном состоянии, что происходит за счет двустороннего распределения рабочей жидкости, в результате чего силы давления рабочей жидкости на торцы ротора со стороны распределительных окон, связанных с нагнетательной магистралью уравновешены. Из-за того, что в данной конструкции гидромашин распределительные окна не могут сообщаться по каналам статора 22, двустороннее распределение осуществляется посредством сообщения распределительных окон через специальные каналы, выполненные в роторе 20.

Примером, рассматриваемых гидромашин планетарного типа третьей кинематической схемы (рис. 2, в) может служить хорошо зарекомендовавший себя в системах управления планетарный насос-



Насос-дозатор ГА-36000А применяется в гидроприводах рулевого управления мобильных сельскохозяйственных машин СК-5, СК-6, КПС-5Г, КСК-4, СКТ-2 и др. Он состоит (рис. 10) из неподвижной направляющей 6, имеющей семь роликов 12 и сателлита 11, имеющего шесть зубьев эпициклоидного профиля, которые образуют цепочное зацепление. Они размещены между пластиной 13 и крышкой 7, которые болтами прикреплены к корпусу 17. Толщина направляющей больше, чем толщина роликов и сателлита, что дает возможность последним свободно вращаться.

В корпусе 17 (рис. 10) установлен вал 19, хвостовик которого неподвижно соединен с валом рулевого колеса. Вал 19, установленный в радиально-игольчатом подшипнике 20 и упорном подшипнике 18, штифтом 2 соединен с золотником 4. Плавающий вал 3 с двумя штифтами 10 образует карданную передачу между валом 19 и сателлитом 11. Золотник 4 имеет центральный осевой канал 23, через который проходит плавающий вал 3, и шесть радиальных отверстий 21. На внешней поверхности золотника находится шесть пазов 22. Корпус 17 внутри имеет две кольцевые проточки (кольцевая проточка 15 соединена с одним штуцером, а вторая – со штуцером 16) и семь косых каналов 5.

В пластине 13 также имеется семь отверстий 9, которые с одной стороны соединяются с косыми каналами 5, а со второй – с рабочими камерами 24 насоса. Рабочие камеры образованы двумя роликами 12, внутренней поверхностью направляющей 6 и боковой поверхностью сателлита 11, контактирующей с роликами.

При вращении рулевого колеса вместе с ним вращаются золотник 12 (рис. 11) и сателлит. Сателлит кроме вращения вокруг собственной оси вращается еще и по орбите. Зубья сателлита 2 проскальзывают по роликам 1 и входят или выходят из рабочих камер 7, в результате чего изменяют их объем.

Когда зуб 2 находится между роликами 1 и 4 направляющей 5 (рис. 11, а) рабочий объем камеры 7 уменьшается до нуля. При вращении сателлита, например, против часовой стрелки в рабочей камере 7 создается вакуум (рис. 11, б) и тогда из штуцера 11 через кольцевую проточку корпуса, паз 9 золотника 12, косой канал 8 корпуса в рабочую камеру 7 всасывается рабочая жидкость. При дальнейшем вращении сателлита зуб 6 заходит между роликами (рис. 11, в) и вытесняет рабочую жидкость из рабочей камеры 7, которая через косой канал 8 корпуса, радиальное отверстие 16 золотника, центральный осевой канал 15, кольцевую проточку корпуса нагнетается в штуцер 13.

Аналогично происходит процесс всасывания и нагнетания в других рабочих камерах. При изменении направления вращения (по часовой стрелке) направление движения рабочей жидкости изменяет-

ся на противоположное. Рабочая жидкость всасывается через центральный осевой канал, радиальное отверстие золотника и кольцевую проточку 10 корпуса. Таким образом, насос-дозатор в системе рулевого управления мобильных машин работает в режиме реверсивного насоса.

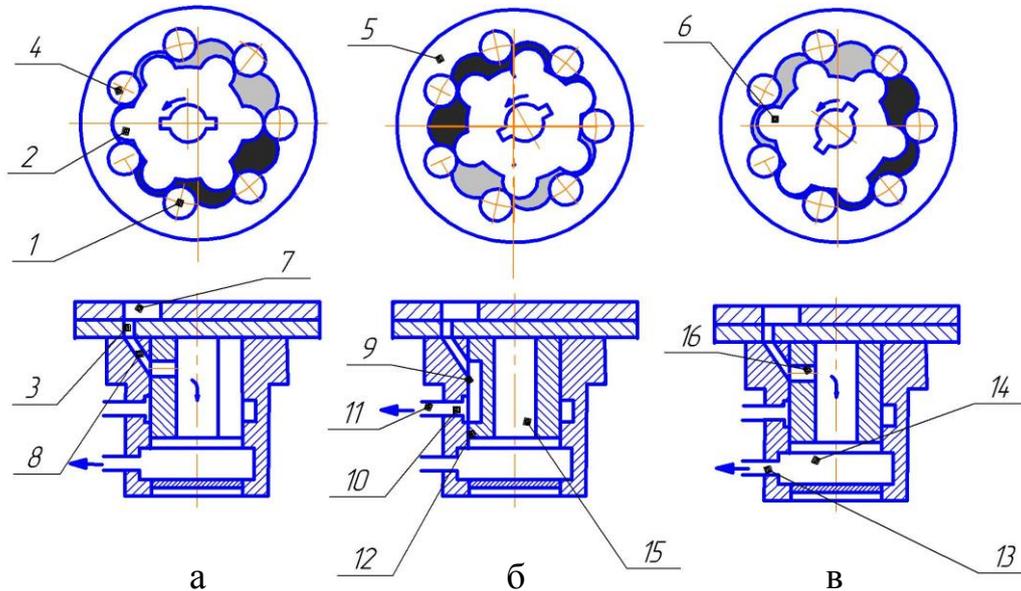


Рис. 11. Схема работы насоса-дозатора: а, в – вытеснение рабочей жидкости; б – всасывание рабочей жидкости; 1, 4 – ролики; 2, 6 – зубья сателлита; 3 – отверстие; 5 – направляющая; 7 – рабочая камера; 8 – косой канал; 9 – паз; 10, 11, 13 – штуцера; 12 – золотник; 14 – кольцевые проточки; 15 – центральный осевой канал; 16 – радиальное отверстие.

Самым распространенным планетарным гидромотором, относящимся к третьей кинематической схеме (рис. 2, в), применяемым в зарубежной мобильной технике для приводов активных рабочих органов, является гидромотор фирмы «Danfoss» представленный различными типоразмерными рядами (сериями). По лицензии фирмы «Danfoss» Омским заводом гидроприводов «Омскгидропривод» [5] выпускается планетарный гидромотор серии МГП.

Планетарные гидромоторы типа МГП – это реверсивные гидромашин с распределителем рабочей жидкости многократного действия. Рабочий орган этих гидромашин состоит (рис. 12) из ротора 28, семи цилиндрических роликов 27 и пластины 24. Ротор 28 при перекачивании по зубчатому венцу статора 29 изменяет объем рабочих камер. Ось ротора описывает окружность радиусом, который равен эксцентриситету рабочей пары.

В корпусе 5 установлены радиально-упорные роликовые подшипники 4, в которых вращается выходной вал 1 с внутренними шли-



цами. Для уплотнения вала в корпусе 5 установлена манжета 3. Выходной вал соединен с золотниковым устройством 10, 12 и валом 11. Торцевое прижатие золотника осуществляет прижимная втулка 13, которая размещена в крышке 17. Усилие осевого прижатия создает пластинчатая пружина 22 и давление рабочей жидкости, которая поступает через один из каналов.

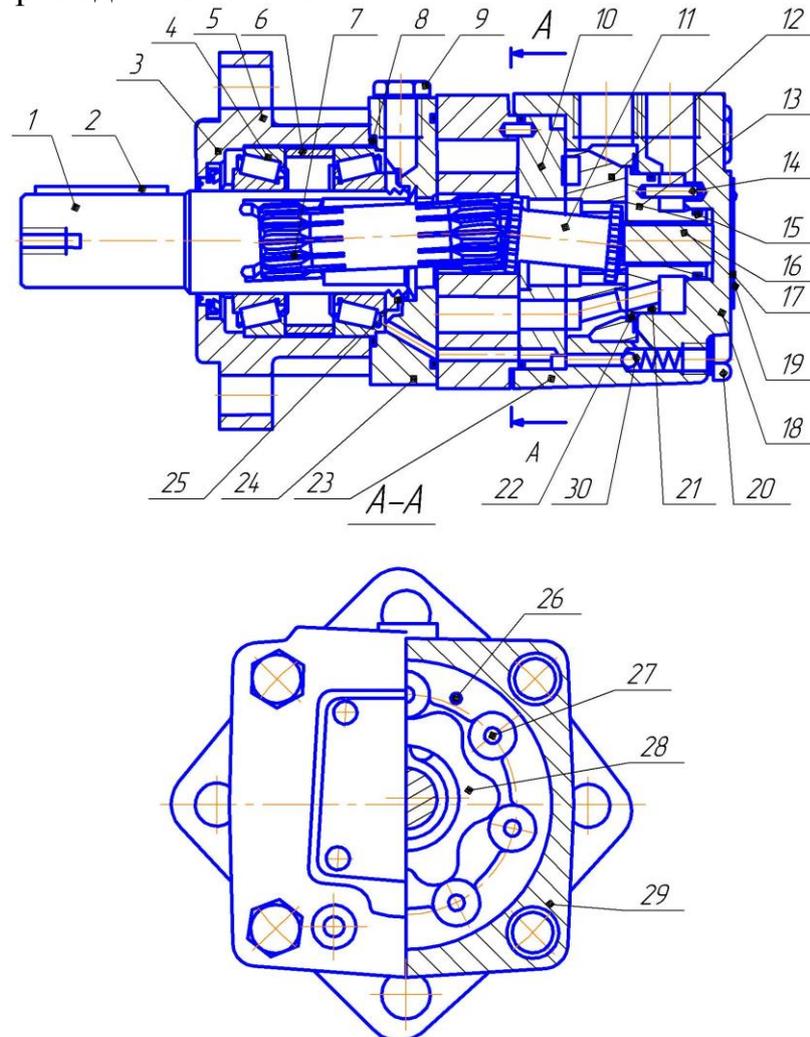


Рис. 12. Планетарный гидромотор серии МГП: 1 – выходной вал; 2 – шпонка; 3 – манжета; 4 – подшипник; 5 – корпус; 6 – дистанционная втулка; 7 – зубчатый вал; 8, 15, 21 – резиновые кольца; 9 – пробка; 10, 12 – золотниковое устройство; 11 – вал; 13 – прижимающая втулка; 14, 26 – штифты; 16 – упорный ролик; 17, 18 – крышки; 19 – заклепка; 20 – болт; 22 – пружина; 23 – корпус золотника; 24 – пластина; 25 – гайка; 27 – ролик; 28 – ротор; 29 – статор; 30 – обратный клапан.

Гайкой 25 и дистанционной втулкой 6 регулируют зазор в конических подшипниках. Для герметизации внутреннего объема гидромотора установлены резиновые кольца 8, 15, 21.



Для сбора дренажа в золотниковом устройстве 10, пластине 24 и статоре 29 имеются отверстия, которые диаметральным каналом пластины 24 соединены с обратными клапанами 30, которые разделяют полости высокого и низкого давления. Для снижения давления дренажа в пластине 24 имеется специальное отверстие для вывода рабочей жидкости, которое закрыто пробкой 9.

Угловое положение пластины 24 относительно статора 29 и прижимной втулки 13 относительно крышки 18 зафиксировано штифтами 14, 26. Осевое смещение карданных валов в сторону крышки ограничивается упорным роликом 16.

Направление вращения выходного вала зависит от распределения входа и выхода рабочей жидкости к отверстиям на крышке. Рабочая жидкость под давлением поступает в одно из отверстий прижимной втулки 13, золотника 10 и промежуточной пластины и подводится в камеры изменяющегося объема, заставляя ротор 28 обкатываться (осуществлять планетарное движение вокруг оси статора 29 и одновременно вращаться вокруг собственной оси в направлении противоположном движению по орбите) по внутреннему зубчатому венцу статора. Из камер, объем которых уменьшается, отработанная рабочая жидкость вытесняется зубьями ротора и по распределительным каналам и отверстиям в крышке отводится в сливную магистраль. Итак, давление рабочей жидкости приводит в действие ротор, который создает крутящий момент. Движение ротора по орбите превращается в обороты выходного вала с передаточным отношением равным семи.

Основным недостатком рассмотренных планетарных гидромашин третьей кинематической схемы является наличие карданной передачи, что в известной мере ограничивает крутящий момент на валу гидромотора, и как следствие, рабочий объем и мощность, а следовательно, и область их применения.

Представителями низкооборотных высокомоментных гидромоторов четвертой кинематической схемы (рис. 2, г), являются гидравлические вращатели планетарного типа РПГ, изготавливаемые Липецким исследовательско-экспериментальным заводом «Гидромаш» [12].

Гидровращатели РПГ представляют собой реверсивные полноповоротные гидравлические машины планетарно-роторного типа, предназначенные для привода высокомоментных низкооборотных рабочих органов машин в различных областях промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Гидровращатели РПГ могут работать в средах любой загрязнённости и под водой. Они могут устанавливаться как на консоли вала, так и между валами, выполняя дополнительную функцию соединительной муфты.

Гидровращатели типа РПГ используются для привода вращения рециклера при производстве асфальта, привода подвижного пола в ку-

зове пескоразбрасывателя, установлены в качестве привода лебёдки, на автомашинах, используемых для погрузки кузовов контейнерного типа, в сельском хозяйстве установлены в качестве привода на механизме закатывания в рулоны скошенной травы, сена. Для многократного увеличения крутящего момента возможна установка нескольких гидровращателей на общем шлицевом валу, при этом не требуется синхронизация вращения этих двигателей [12].

Наибольшее применение для привода высокомоментных низкооборотных рабочих органов машин в различных областях промышленной и сельскохозяйственной деятельности нашли гидровращатели РПГ-6300 (рис. 13).

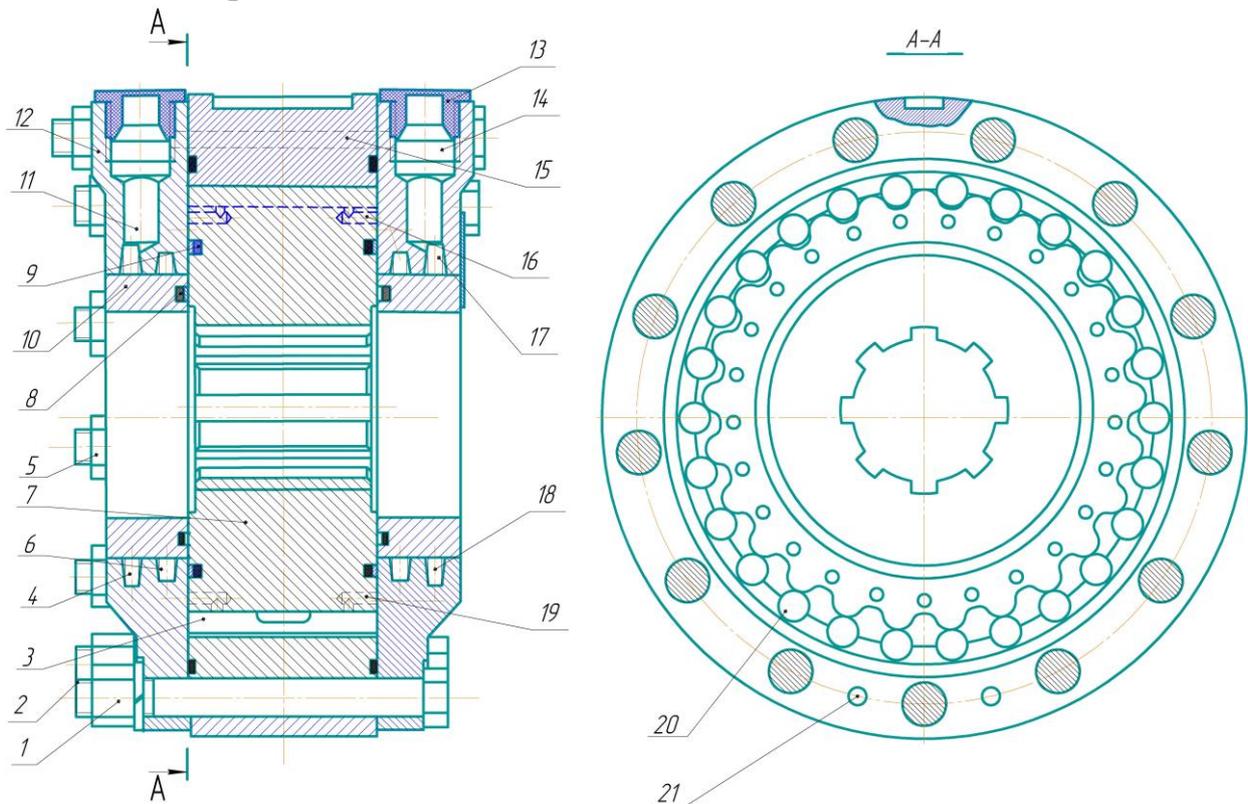


Рис. 13. Гидравлический вращатель планетарного типа РПГ: 1,5 – гайки 2 – болт, 3 – зуб шестерни, 4, 6, 17, 18 – кольцевые каналы, 7 – шестерня, 8, 9 – уплотнение, 10 – заглушка, 11, 14 – полости, 12 – крышка, 13 – пробка, 15 – направляющая, 16, 19 – отверстия, 20 – ролик, 21 – перепускной канал.

Гидровращатель состоит (рис. 13) из направляющей 15 с вставными роликами 20, шестерни 3 и двух крышек 12, в которые запрессованы заглушки 10. Крышки прикреплены к направляющей стяжными болтами с гайками. Профиль зубьев шестерни круговой. Торцевой зазор между шестерней и крышками уплотнены резиновыми и чугунными кольцами [1,5].



При подаче рабочей жидкости, например, в полость 14, она через кольцевой канал 18 и аксиальные отверстия в правой крышке одновременно через канал в направляющей поступает в аксиальные отверстия левой крышки. Далее рабочая жидкость через отверстия 19 на торцах шестерни поступает в рабочие камеры, образованные внутренней поверхностью направляющей 15 и внешней поверхностью шестерни 3. Под действием давления рабочей жидкости направляющая 15 с роликами 20 начинает осуществлять сложно-планетарное движение, обкатываясь по шестерни 3 и, одновременно, передавая ей вращательное движение.

Рабочая жидкость вытесняется на слив через два других кольцевых канала в крышках. Для того, чтобы направляющая 15 передавала реактивный момент и одновременно обкатывалась по шестерни 3, она соединена с рамой машины шарнирно при помощи рычагов. Приводной вал вращаемого устройства, который жестко соединен с шестерней гидровращателя, устанавливается в подшипниках, закрепленных на раме машины.

Как все роторные гидромашин, планетарный гидровращатель РПГ-6300 реверсивный. Изменение направления вращения «выходного вала» гидровращателя осуществляется изменением направления движения потока рабочей жидкости.

Основным недостатком рассмотренного планетарного гидровращателя, является неравномерность выходных характеристик, обусловленная несовершенством конструкции формы элементов вытеснительной системы, а также наличием больших гидравлических потерь в распределительной системе [12-16], обусловленных геометрией проточных частей.

Несмотря на то, что планетарный гидровращатель РПГ-6300 выпускался в странах СНГ, он представляет собой гидромашину, отработка конструкции, которой производилась в большей степени экспериментальным путем. Поэтому практически отсутствует информация о взаимосвязи геометрических параметров вытеснительной и распределительной систем и выходных характеристик гидровращателя. В этой связи очень остро встает вопрос проведения комплексных исследований, определяющих законы движения вытеснительных элементов, а также подачи рабочей жидкости распределительной системой в рабочие камеры гидровращателя с целью разработки новых и совершенствования существующих конструкций гидромашин данного типа.

Выводы – Анализ конструктивных особенностей роторных гидромашин показал, что несмотря на разнообразие гидромашин, используемых в приводах активных рабочих органов мобильной техники только планетарные гидромашин допускают форсирование по давлению, они, в зависимости от кинематической схемы работы вытесни-



телей могут быть быстро- или тихоходными и могут работать с высоким КПД во всем диапазоне регулирования. Эти качества планетарных гидромашин обеспечивают возможность получения в них больших пусковых моментов и работы на самой низкой частоте вращения при заданной мощности. Поэтому при рассмотрении различных типов гидромашин, обуславливающих технический уровень современного силового гидропривода мобильной техники, наибольшего внимания заслуживают гидравлические машины планетарного типа.

Литература.

1. Основные направления гидрофикации мобильной техники / *А.И. Панченко, А.А. Волошина, Ю.П. Обернихин* // *Праці ТДАТУ*. – Мелітополь. – 2013. – Вип. 13. – т.6. – с. 3-19.
2. Преобразователи энергии потока жидкости, применяемые в силовых гидроприводах / *А.И. Панченко, И.И. Милаева, П.В. Обернихин, Д.С. Титов* // *Праці ТДАТА*. – Мелітополь. – 2005. – Вип. 29. – с.47-58.
3. *Бирюков Б.Н.* Роторно-поршневые гидравлические машины / *Б.Н. Бирюков*. – М.: Машиностроение, 1977, 152с.: ил.
4. *Ерасов Ф.Н.* Новые планетарные машины гидравлического привода / *Ф.Н. Ерасов*. – Киев.: УкрНИИНТИ, 1969. – 55 с.
5. *Погорілець О.М.* Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / *О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко; за ред. О.М. Погорільця*. – К.: Вища освіта, 2004. – 368 с.: іл.
6. *Баишта Т.М.* Гидравлика, гидромашины, гидроприводы: Учебник для ВТУЗов / *Т.М. Баишта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов* и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423с.: ил.
7. Героторный насос [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/products_ss/09_pumps.
8. *Волошина А.А.* Конструктивные особенности и принцип работы героторных гидромашин / *А.А. Волошина* // *Науковий вісник ТДАТУ*. – Мелітополь, 2012. – Вип. 2. – Т.5. – С. 220-226.
9. *Волошина А.А.* Классификация планетарных гидромашин, применяемых в силовых гидроприводах мобильной техники / *А.А. Волошина* // *Праці ТДАТУ*. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11. – т.1. – С. 67-85.
10. Гидромашины с циклоидальной формой вытеснителей, применяемые в силовых гидроприводах мобильной техники // *А.И. Панченко, А.А. Волошина* / *Интердрайв – 2012: Официальный каталог IX форума и выставки (Москва, 27-30 марта 2012 года)*. – Москва, 2012. – С.179-194.
11. Конструктивные особенности и принцип работы гидромашин с циклоидальной формой вытеснителей / *А.И. Панченко, А.А. Волошина* //



- Промислова гідравліка і пневматика, 2010. – №3(29). – С. 57–69.
12. Гидравлические вращатели РПГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gidromash.lipetsk.ru>.
13. Влияние потерь на функциональные характеристики планетарных гидромашин // *А.И. Панченко, В.Н. Кюрчев, А.А. Волошина, Е.Б. Грингауз* / Труды ТГАТА. – Мелітополь, 1999. – Вып.2. – Т.10. – С.75-80.
14. Конструктивные особенности и принцип работы гидровращателей планетарного типа // *А.И. Панченко, А.А. Волошина, В.П. Кувачев, И.А. Панченко* / Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип. 12. – Т.3. – С. 174-184.
15. Обоснование путей улучшения выходных характеристик гидровращателей планетарного типа / *А.И. Панченко, А.А. Волошина, И.И. Милаева, Д.С. Титов* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2009. – Вип. 9. – Т.5. – С. 68-74.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОМАШИН ПЛАНЕТАРНОГО ТИПУ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ГІДРОАГРЕГАТАХ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Волошина А.А.

Анотація

Анотація – робота присвячена аналізу існуючих конструкцій гідромашин, які застосовуються в гідроагрегатах мобільних машин. Обґрунтовано найбільш перспективний тип гідромашин - з циклоїдальною формою витискувачів.

DESIGN FEATURES OF PLANETARY TYPE HYDROMACHINES USED IN THE HYDRAULIC UNITS OF MOBILE MACHINES

A. Voloshina

Summary

The work is devoted to the analysis of existing designs of hydraulic machines that are used in the hydraulic units of mobile machines. The most promising type of hydraulic machines with cycloidal form of displacers is substantiated.