

УДК 621.225.001.4

А. И. ПАНЧЕНКО, А. А. ВОЛОШИНА, И. А. ПАНЧЕНКО**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ ГИДРОМОТОРОВ СЕРИИ PRG**

Представлені конструктивні особливості планетарних гідромоторів серії PRG. Обґрунтовано схеми взаємодії елементів витискувальної і розподільної систем. Запропоновано механізм, що компенсує планетарний рух витискувачів, аналогічний роботі планетарного редуктора. Розглянуто рух робочої рідини в розподільній системі. Обґрунтовано використання елементів системи розподілу робочої рідини в якості торцевого ущільнення вихідного кінця вала планетарного гідромотора.

Ключові слова: планетарний гідромотор, витискувальна система, зовнішній і внутрішній витискувачі, компенсуючий механізм, розподільна система, розподільник і золотник, ущільнення вихідного вала, робоча рідина.

Представлены конструктивные особенности планетарных гидромоторов серии PRG. Обоснованы схемы взаимодействия элементов вытеснительной и распределительной систем. Предложен механизм, компенсирующий планетарное движение вытеснителей, аналогичный работе планетарного редуктора. Рассмотрено движение рабочей жидкости в распределительной системе. Обосновано использование элементов системы распределения рабочей жидкости в качестве торцевого уплотнения выходного конца вала планетарного гидромотора.

Ключевые слова: планетарный гидромотор, вытеснительная система, внешний и внутренний вытеснители, компенсирующий механизм, распределительная система, распределитель и золотник, уплотнение выходного вала, рабочая жидкость.

The paper presents design features of the planetary hydraulic motors of PRG series as well as their displacement and distribution systems. Four standard unified motor series (PRG-33, PRG-22, PRG-11 and PRG-8) have been developed. The hydraulic motors have power of 33, 22, 11 and 8 kW. Rotational speed, which the motors provide, ranges from 1420 to 75 rpm according to the power change. The hydraulic motors of each unified series have the same connecting dimensions and input characteristics and differ in linear dimensions, mass and output characteristics according to the working volume change from 35 to 1600 cm³. The unification level of the motors in each series is up to 85 %. The schemes of interaction between elements of the displacement and distribution systems are justified. A mechanism, which compensates the planetary motion of displacers, is proposed. Its work is similar to the work of the planetary reducer. The movement of working fluid in the distribution system has been considered. The use of the elements of the working fluid distribution system as a face seal of an output end for PRG motor shaft is justified.

Key words: planetary hydraulic motor, displacement system, external and internal displacers, compensating mechanism, distribution system, distributor and valve, output shaft seal, working fluid.

Введение. Непрерывно возрастающие масштабы производства мобильной техники делают особенно актуальным вопрос, гидрофикации ее активных рабочих органов. Недостаточно широкое применение силовых гидроприводов, как у нас в стране, так и за рубежом, объясняется ограниченной номенклатурой гидромашин и их низкими выходными характеристиками. Современные тенденции развития гидрофикации мобильной техники требуют разработки принципиально новых и совершенствования существующих конструкций гидромашин, а также новых подходов в решении проблемы улучшения выходных характеристик гидроприводов с гидромашинами вращательного действия.

Для привода активных рабочих органов мобильной техники используются различные типы гидравлических машин [1–4], но особое внимание уделяется орбитальным гидромоторам [5–7]. Эти гидромоторы имеют высокий страгивающий момент, устойчиво работают в низком диапазоне частот вращения и обеспечивают режимы работы с высоким КПД во всем диапазоне регулирования и допускают форсирование по давлению. Большим преимуществом этих гидромоторов является возможность установки их непосредственно в приводные механизмы транспортеров, лебедок, битеров, мотор-колес и т.д.

Отличительными особенностями конструктивного исполнения рассматриваемых гидромоторов серии PRG, от других известных конструкций орбитальных гидромоторов [6–17], являются наличие механизма, компенсирующего орбитальное движение вытеснителей,

выполненного в виде зубчатой пары с внутренним эвольвентным зацеплением, а также узла уплотнения выходного конца вала гидромотора выполненным совместно с торцевой системой распределения рабочей жидкости [18–21].

Поэтому, разработка типоразмерных унифицированных рядов планетарных гидромоторов с высокими выходными характеристиками, обусловленными оригинальным конструктивным исполнением вытеснительной системы, с циклоидальным профилем вытеснителей, механизма, компенсирующего орбитальное движение вытеснителей и распределительной системы, создающей вращающееся гидравлическое поле, является одной из актуальных задач развития современной мобильной техники.

Анализ последних исследований. В последние годы идет напряженный поиск конструктивных решений новых гидромашин объемного действия и совершенствование их существующих конструкций с целью создания гидромашин с максимально простой конструкцией и технологией изготовления при минимальной стоимости; разработки высокомоментных низкооборотных гидромоторов, рабочие элементы которых имеют низкую скорость перемещения относительно друг друга и обладают высокой нагрузочной способностью; создания гидромашин, надежных в эксплуатации, имеющих высокий коэффициент полезного действия, относительно небольшие габариты и вес.

В настоящее время большое внимание уделено орбитальным гидромашинам. При проектировании орбитальных и героторных гидромашин [6–12]

учтены силы действующие в зубчатом зацеплении, математические модели, описывающие изменение нагрузок в нем и трибологические изменения геометрии рабочих поверхностей роторов этих гидромашин, программы для проектирования зубчатых поверхностей, учитывающие уравнения гидродинамики движения жидкости в рабочих камерах. Однако не рассмотрены вопросы, связанные с компенсацией орбитального движения роторов. При формировании массово-габаритных показателей планетарных гидромашин важное значение, уделяется механизму компенсирующему планетарное движение одного из вытеснителей. В планетарных гидромоторах серии PRG в качестве компенсирующего механизма, используется дополнительное зубчатое зацепление.

В работах [13–17] рассмотрено моделирование течения рабочей жидкости по каналам героторных и планетарных гидромоторов, обоснованы причины возникновения кавитационных явлений в зоне распределения, а также геометрические, математические и гидродинамические модели, позволяющие исследовать влияние геометрических параметров проточных частей на выходные характеристики гидромотора. Однако не рассмотрены вопросы, связанные с уплотнением выходного конца вала гидромотора.

Необходимо отметить, что в гидромоторах серии PRG, компенсирующий механизм конструктивно связан с вытеснительной системой, а уплотнение выходного конца вала – с распределительной системой. Распределительная система планетарного гидромотора создает вращающееся гидравлическое поле, необходимое для работы его вытеснительной системы и состоит из вращающегося распределителя и неподвижного золотника.

Гидромоторы серии PRG выполнены таким образом, что их корпус находится под давлением рабочей жидкости. Такая конструкция гидромотора позволяет повысить его объемный КПД, но при этом требует нестандартного решения по уплотнению выходного конца вала этого гидромотора.

Таким образом, в планетарных гидромоторах серии PRG, можно выделить четыре основных узла, определяющие эксплуатационную эффективность этих гидромашин – блок вытеснителей, распределительное устройство, механизм, компенсирующий планетарное движение одного из вытеснителей и уплотнение выходного конца вала гидромотора.

Постановка проблемы. На сегодняшний день, одной из причин, сдерживающих широкое использование гидропривода активных рабочих органов мобильной техники являются ограниченность номенклатуры существующих высокомоментных низкооборотных гидромоторов, а также отсутствие комплексных исследований в области проектирования планетарных гидромашин. Следовательно, разработка унифицированных рядов планетарных гидромоторов с заданными выходными характеристиками, является одной из актуальных задач развития гидропривода активных рабочих органов мобильной техники.

Цель исследования. Повышение эффективности использования приводов активных рабочих органов и ходовых систем самоходной техники путем разработки типоразмерных унифицированных рядов планетарных гидромоторов с заданными выходными характеристиками.

Основная часть. Для повышения эффективности использования приводов активных рабочих органов и ходовых систем самоходной техники разработаны типоразмерные унифицированные ряды планетарных гидромоторов PRG с заданными выходными характеристиками. Планетарные гидромоторы серии PRG [20] представлены четырьмя типоразмерными рядами унифицированных гидромоторов: PRG-33, PRG-22, PRG-11 и PRG-8 (рис. 1).

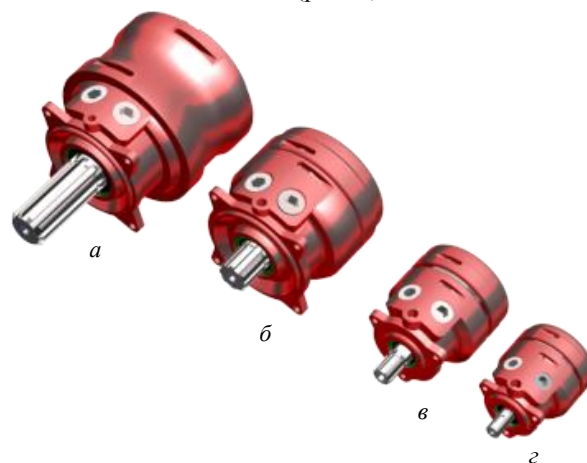


Рис. 1 – Планетарные гидромоторы серии PRG: а – PRG-33; б – PRG-22; в – PRG-11; г – PRG-8.

Типоразмерный ряд унифицированных гидромоторов серии PRG-33 (рис. 1, а) номинальной мощностью 33 кВт, представляет собой четыре гидромотора с рабочими объемами 800, 1000, 1250 и 1600 см³ с номинальной частотой вращения вала гидромотора 150, 120, 96 и 75 мин⁻¹, соответственно.

Серия гидромоторов PRG-22 (рис. 1, б) представлена семью гидромоторами мощностью 22 кВт, с рабочими объемами 160, 200, 250, 320, 400, 500 и 630 см³ и номинальной частотой вращения вала гидромотора 600, 480, 380, 300, 240, 190 и 150 мин⁻¹, соответственно.

Планетарные гидромоторы серии PRG-11 (рис. 1, в) номинальной мощностью 11 кВт представлены семью гидромоторами с рабочим объемом 50, 63, 80, 100, 125, 160 и 200 см³ и номинальной частотой вращения вала гидромотора 940, 746, 587, 470, 376, 294 и 235 мин⁻¹, соответственно.

Гидромоторы унифицированного ряда серии PRG-8 (рис. 1, г) номинальной мощностью 8 кВт, представляют собой семь гидромоторов, с рабочими объемами 35, 40, 50, 63, 80, 100 и 125 см³ и номинальной частотой вращения вала гидромотора 1420, 1135, 910, 722, 555, 445 и 335 мин⁻¹, соответственно.

Все планетарные гидромоторы серии PRG

выполнены по одной кинематической схеме (рис. 2) и имеют одинаковые присоединительные размеры и входные характеристики и отличаются линейным габаритным размером, массой и выходными характеристиками, в соответствии с рабочим объемом.

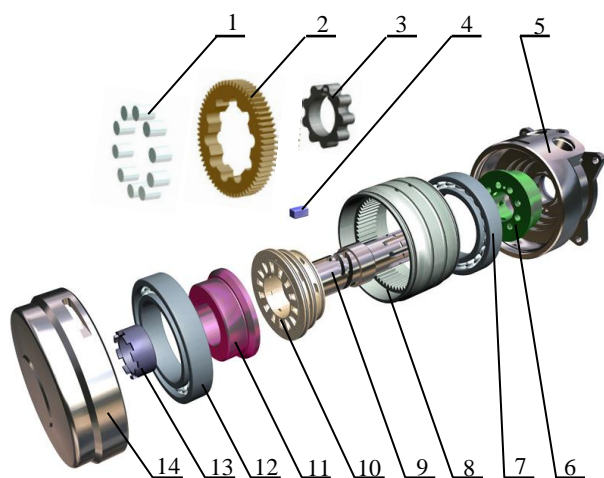


Рис. 2 – Кинематическое расположение деталей гидромотора серии PRG:

- 1 – зубья (ролики); 2 – охватывающий вытеснитель;
3 – охватываемый вытеснитель; 4 – шпонка;
5 – передняя крышка; 6 – золотник; 7 и 12 – радиально-упорные шарикоподшипники; 8 – корпус; 9 – вал;
10 – распределитель; 11 – щека; 13 – гайка;
14 – задняя крышка.

Шестерня 3, с наружными зубьями, устанавливается на валу гидромотора 9 и через шпонку 4 передает крутящий момент на вал 9. Охватывающий вытеснитель 2 имеет внутренние цилиндрические проточки под ролики 1 образующие его внутреннюю зубчатую поверхность. Эта зубчатая поверхность, контактируя с наружной зубчатой поверхностью шестерни 3, образуют рабочие камеры вытеснительной системы гидромотора, с геометрией, определенной внутренним зубчатым зацеплением с гипоциклоидальным профилем зубьев. Торцевыми ограничителями (замыкателями) рабочих камер вытеснительной системы, являются соответствующие торцевые поверхности щеки 11 и распределителя 10.

В связи с тем, что работа вытеснительной системы и компенсирующего механизма гидромоторов серии PRG аналогична работе планетарного редуктора (рис. 3), гидромоторы такого типа получили название – планетарные. Солнечной шестерней 1, в рассматриваемых гидромоторах, является охватываемый вытеснитель, установленный на валу гидромотора. Центр вращения солнечной шестерни 1 расположен концентрично геометрическому центру коронной шестерни 3, выполняющей функции корпуса гидромотора. Сателлитом 2, в данной серии гидромоторов, является охватывающий вытеснитель, который контактирует своими внутренними зубьями (роликами) с зубьями солнечной шестерни 1, образуя вытеснительную систему с внутренним зубчатым гипоциклоидальным зацеплением [19, 20].

Внешняя, эвольвентная зубчатая поверхность

сателлита 2 взаимодействует с внутренней эвольвентной зубчатой поверхностью коронной шестерни 3. Необходимо отметить, что эвольвентное внутреннее зубчатое зацепление, образованное внешней зубчатой поверхностью сателлита 2 и внутренними зубьями коронной шестерни 3, в планетарных гидромоторах серии PRG, одновременно является механизмом, компенсирующим планетарное движение сателлита 2. При их работе, сателлит 2, под действием гидравлического поля, обкатывается вокруг солнечной шестерни 1, со скоростью вращения гидравлического поля, поворачиваясь при этом, в противоположную сторону. Вращающееся гидравлическое поле, создаваемое распределительной системой планетарного гидромотора серии PRG, выполняет роль водила (кривошипа) планетарного редуктора.

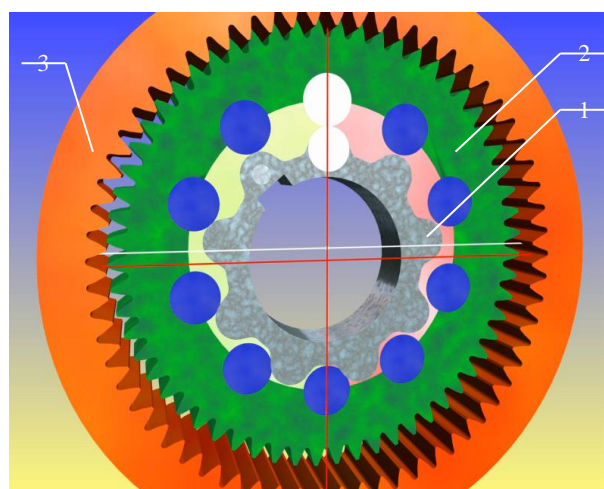


Рис. 3 – Схема расположения элементов вытеснительной системы и компенсирующего механизма:

- 1 – солнечная шестерня (охватываемый вытеснитель);
2 – сателлит (охватывающий вытеснитель);
3 – коронная шестерня (корпус).

За один оборот гидравлического поля (рис. 3) солнечная шестерня 1 поворачивается на один зуб по отношению к сателлиту 2, который, в это же время, обкатывается внутри коронной шестерни 3, поворачиваясь в ту же сторону, что и солнечная шестерня 1. Следовательно, полный оборот вал гидромотора (солнечная шестерня) совершит за несколько оборотов гидравлического поля, определяемое кинематической взаимосвязью солнечной шестерни, сателлита и коронной шестерни. Поэтому, планетарные гидромоторы обладают достаточно большим рабочим объемом, а значит, имеют низкую частоту вращения и высокий крутящий момент, что чаще всего необходимо для привода активных рабочих органов мобильной техники.

Анализ рассмотренной кинематической схемы расположения элементов вытеснительной системы и компенсирующего механизма в планетарных гидромоторах серии PRG, показывает, что предложенная кинематика позволяет также разрабатывать планетарные гидромоторы с большой

(более 80 кВт) мощностью и большим (более 10000 см³) рабочим объемом. Необходимо отметить, что разработка планетарных гидромоторов с аналогичными параметрами мощности и объема, при использовании других кинематических схем [19], применяемых в гидромашинах подобного типа (орбитальные, геролерные, героторные), является достаточно трудной задачей.

С целью формирования гидравлического поля, необходимого для работы вытеснительной системы гидромоторов серии PRG, применяется торцевая распределительная система [17, 18, 21, 22], состоящая из передней крышки, золотника, распределителя и вала гидромотора (рис. 4). Золотник (рис. 4, а), установленный в переднюю крышку (рис. 4, б) образует узел подвода-отвода рабочей жидкости к гидромотору. Распределитель (рис. 4, в), установленный на валу гидромотора (рис. 4, г) образует узел распределения, подводящий (отводящий) рабочую жидкость к рабочим камерам гидромотора. При работе распределительной системы золотник (рис. 4, а), установленный в переднюю крышку неподвижен, а распределитель (рис. 4, в), установленный на валу гидромотора (рис. 4, г), вращается относительно золотника (рис. 4, а). Контактное торцевых поверхностей золотника (рис. 4, а) и распределителя (рис. 4, в), имеющих специальные окна, образует зону формирования гидравлического поля, необходимого для работы вытеснительной системы планетарного гидромотора серии PRG.

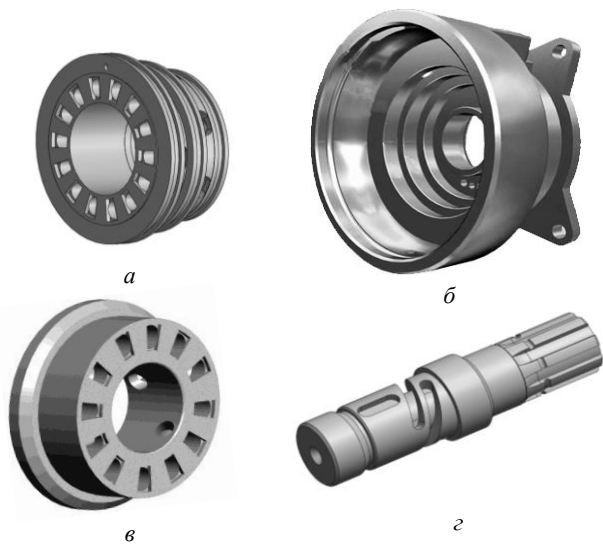


Рис. 4 – Элементы распределительной системы планетарного гидромотора серии PRG:
а – золотник; б – передняя крышка;
в – распределитель; г – вал.

Конструктивно, узел подвода-отвода рабочей жидкости выполнен таким образом, что при работе гидромотора происходит постоянное контактирование (поджим) золотника и распределителя с заданным усилием. Контактные, в процессе работы, торцевые поверхности золотника и распределителя, одновременно выполняют функции торцевого

уплотнения выходного конца вала от высокого давления, создаваемого в корпусе гидромотора.

Схема расположения распределительных окон в зоне формирования гидравлического поля (рис. 5), образованного сегментными окнами, расположенными на торцевых поверхностях золотника и распределителя, наглядно показывает образование зон нагнетания и слива при подводе (отводе) рабочей жидкости к рабочим камерам гидромотора.

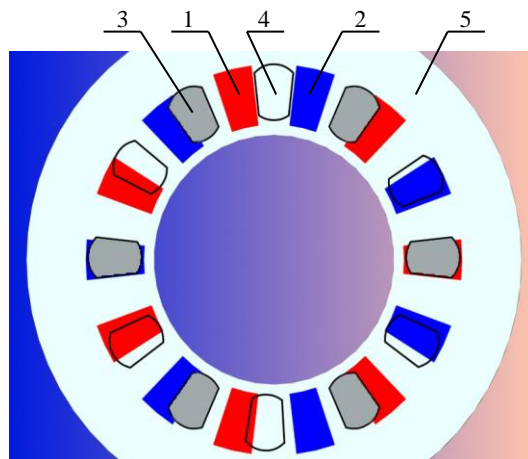


Рис. 5 – Схема расположения распределительных окон в зоне формирования гидравлического поля:

1 – окна нагнетания золотника; 2 – окна слива золотника;
3 – рабочие окна распределителя; 4 – разгрузочные окна распределителя; 5 – поверхность золотника.

На торцевой поверхности неподвижного золотника 5 выполнены окна нагнетания 1 и слива 2 (рис. 5). С этими окнами, контактируют разгрузочные 3 и рабочие 4 окна распределителя, расположенные на его торцевой поверхности. Количество распределительных окон золотника всегда на два больше, чем распределителя. Наложение разгрузочных 3 и рабочих 4 окон распределителя на окна нагнетания 1 и слива 2 золотника позволяет получить схему мгновенного положения фаз распределения рабочей жидкости в рассматриваемой распределительной системе планетарного гидромотора серии PRG (рис. 5).

Анализ схемы расположения распределительных окон в зоне формирования гидравлического поля (рис. 5) показывает, что рабочие окна 3 распределителя, расположенные справа (от вертикальной оси симметрии), контактируют с окнами нагнетания 1 золотника, образуя зону нагнетания в рабочей камере гидромотора. В левой части схемы, рабочие окна 3 распределителя контактируют с окнами слива 2 золотника, образуя зону слива. При работе гидромотора, зоны нагнетания и слива движутся синхронно с вращением распределителя, образуя постоянно вращающееся гидравлическое поле (води́ло), воздействующее на охватывающий вытеснитель (сателлит). Разгрузочные окна 3 распределителя не принимают участия в распределении рабочей жидкости и служат только для уравнивания силы давления рабочей жидкости, действующей на торцевые поверхности золотника и

распределителя.

Схема движения рабочей жидкости (рис. 6) в узле подвода-отвода планетарного гидромотора серии PRG демонстрирует ее перемещение к узлу распределения и обратно. Золотник 4, установленный в передней крышке 1 гидромотора, обеспечивает непрерывный контакт узла подвода-отвода рабочей жидкости с распределительным узлом в зоне формирования гидравлического поля. Кольцевые каналы 5, выполненные на золотнике 4, соединены с полостями подвода 2 и отвода 3 рабочей жидкости, выполненными в передней крышке 1. Рабочая жидкость из кольцевых каналов 5 по радиальным каналам 6 попадает в окна нагнетания и слива 7 золотника 4, и возвращается обратно.

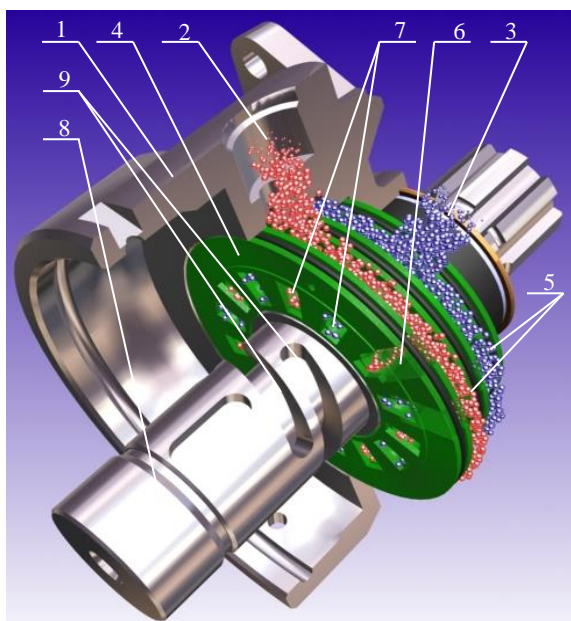


Рис. 6 – Схема движения рабочей жидкости в узле подвода-отвода для гидромоторов серии PRG:

- 1 – передняя крышка; 2 – подвод рабочей жидкости под давлением; 3 – слив рабочей жидкости; 4 – золотник;
5 – кольцевые каналы; 6 – радиальные каналы;
7 – распределительные окна нагнетания и слива; 8 – вал.

В распределительных системах планетарных гидромоторов серии PRG количество распределительных окон нагнетания и слива 7, находящихся на торцевой поверхности золотника 4, всегда четное. Окна нагнетания и слива чередуются через одно. Рабочая жидкость, вышедшая из окон нагнетания и слива 7 золотника 4 (рис. 6), в зоне формирования гидравлического поля (рис. 5), подводится (отводится) к рабочим 3 и разгрузочным 4 окнам распределителя. Далее, по каналам распределителя рабочая жидкость подводится (отводится) к рабочим камерам гидромотора.

Схема движения рабочей жидкости в распределительном узле планетарного гидромотора серии PRG представлена на рис. 7. Рабочая жидкость 1, движущаяся под давлением (рис. 7), подводится к золотнику 3, и через систему каналов 4, подается к зоне контакта золотника 3 с распределителем 5,

которые образуют зону формирования гидравлического поля. Далее, рабочая жидкость, формируется в два потока: поток жидкости под высоким давлением, подводимый к рабочим камерам 7 гидромотора – зона нагнетания и поток жидкости, отводимый от рабочих камер 7 с низким давлением – зона слива. Рабочие камеры 7 гидромотора образованы зубчатыми поверхностями охватывающего 8 и охватываемого 9 вытеснителей и соединены с зоной формирования гидравлического поля системой каналов 6 распределителя 5.

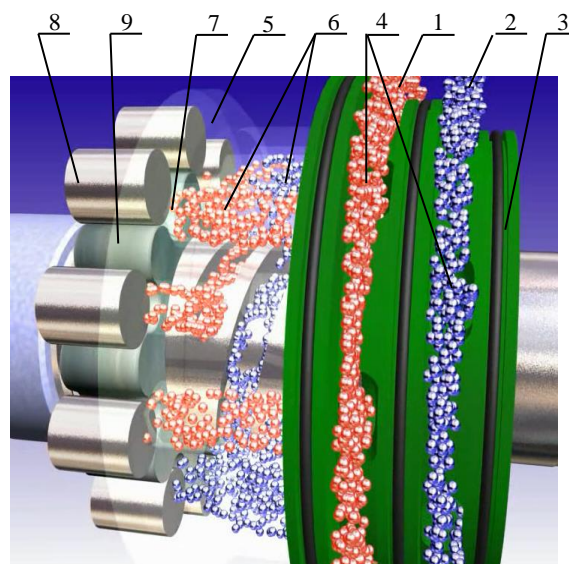


Рис. 7 – Схема движения рабочей жидкости в распределительном узле гидромоторов серии PRG:

- 1 – подводящаяся рабочая жидкость под давлением;
2 – отводящаяся рабочая жидкость на слив; 3 – золотник;
4 – радиальный канал золотника; 5 – распределитель (прозрачный); 6 – система каналов распределителя;
7 – рабочие камеры вытеснительной системы; 8 – зубья охватывающего вытеснителя; 9 – охватываемый вытеснитель.

Рабочая жидкость 1, подведенная под высоким давлением к рабочим камерам 7 гидромотора, приводит в движение его вытеснительную систему (аналогично водилу планетарного редуктора), совершая при этом полезную работу – вращение вала гидромотора с заданной частотой вращения и необходимым крутящим моментом. Далее, рабочая жидкость, отводимая от рабочих камер 7, попадает в зону слива и проходит весь путь по распределительному узлу в обратной последовательности, попадая к соответствующему каналу золотника 3, для отвода рабочей жидкости 2 на слив.

Анализ схем взаимодействия элементов распределительной системы в планетарных гидромоторах серии PRG, показывает, что предложенную систему распределения можно использовать при разработке планетарных гидромоторов с большим (более 10000 см³) рабочим объемом и большой (более 80 кВт) мощностью. В тоже время, необходимо отметить, что

рассматриваемая распределительная система неприемлема при разработке планетарных гидромоторов мощностью менее 8–6 кВт и рабочим объемом меньше 30 см³.

Особенностью предложенной кинематической схемы взаимодействия элементов вытеснительной системы в гидромоторах серии PRG (рис. 8), в отличие от других кинематических схем планетарных (орбитальных) гидромашин, является наличие зоны высокого давления «В» в корпусе 6 рассматриваемого гидромотора. Высокое давление, в корпусе 6, создается в результате попадания рабочей жидкости, находящейся в рабочих камерах блока вытеснителей 5 под давлением нагнетания, в зону «В», через зазоры образованные торцевыми поверхностями элементов блока вытеснителей 5, торцевой поверхностью распределителя 4 и торцевым замыкателем (шекой) 8. Задняя крышка 9 завершает конструкцию гидромотора.

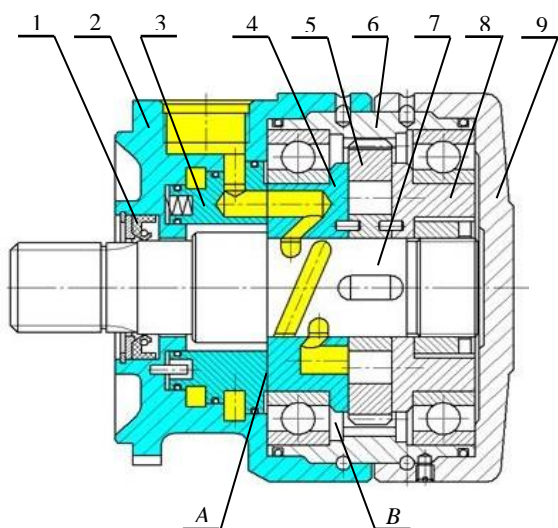


Рис. 8 – Планетарно-роторный гидромотор серии PRG:

- 1 – уплотнение; 2 – передняя крышка; 3 – золотник;
4 – распределитель; 5 – блок вытеснителей; 6 – корпус;
7 – вал; 8 – щека (торцевой замыкатель); 9 – задняя крышка;
А – зона формирования гидравлического поля;
В – зона высокого давления

После заполнения зоны «В», давление в этой зоне и в рабочих камерах блока вытеснителей 5 выравнивается, что предотвращает дальнейшую утечку жидкости из рабочих камер по торцевым зазорам. В результате такой «герметизации» торцевых утечек, объемный КПД вытеснительного узла значительно повышается и положительно влияет на увеличение объемного КПД гидромотора, достигая при этом значения 0,9 и выше.

Наличие высокого давления в корпусе 6 гидромотора (рис. 8), предъявляет дополнительные требования к элементам уплотнения выходного конца вала 7 гидромотора. Рассматриваемое уплотнение должно быть торцевого типа, иметь возможность охлаждения и смазки контактируемых (трущихся) поверхностей, при этом их шероховатость, в местах контакта, не должна превышать $R_z = 0,1 \dots 0,05$ мкм [23].

В этой связи, при проектировании распределительной системы гидромоторов серии PRG, решалась задача совмещения элементов распределительной системы и уплотнительного устройства. Поэтому, распределитель 4 и золотник 3, проектировались таким образом, чтобы их поверхности, образующие зону формирования гидравлического поля «А», одновременно выполняли функции торцевого уплотнения.

В процессе работы гидромотора (рис. 8), рабочая жидкость, от передней крышки 2, через систему каналов подводится к рабочим камерам блока вытеснителей 5. Проходя через золотник 3 и распределитель 4, рабочая жидкость, охлаждает и смазывает контактируемые поверхности в зоне формирования гидравлического поля «А». Шероховатость контактируемых поверхностей не превышает $R_z = 0,1 \dots 0,05$ мкм.

Таким образом в планетарно-роторных гидромоторах серии PRG, элементы системы распределения рабочей жидкости одновременно выполняют функции торцевого уплотнения выходного конца вала гидромотора. Уплотнение 1, манжетного типа (рис. 8), выполняет функции обычного уплотнения выходного конца вала гидромотора, предусмотренного в гидромашинах аналогичных конструкций.

Выводы. 1. Разработанные планетарные гидромоторы серии PRG предназначены для гидрофикации приводов активных рабочих органов мобильной техники. Они представлены четырьмя типоразмерными унифицированными рядами гидромоторов PRG-33, PRG-22, PRG-11 и PRG-8 с номинальной мощностью 33, 22, 11 и 8 кВт, которые способны обеспечить частоту вращения рабочего органа в диапазоне от 1420 до 75 об/мин при соответственном изменении мощности. Гидромоторы каждого унифицированного ряда имеют одинаковые присоединительные размеры и входные характеристики, а отличаются линейным габаритным размером, массой и выходными характеристиками, в диапазоне изменения рабочего объема от 35 до 1600 см³.

2. Эксплуатационная эффективность гидромоторов серии PRG определяется четырьмя основными узлами – блок вытеснителей, распределительное устройство, механизм, компенсирующий планетарное движение одного из вытеснителей и уплотнение выходного конца вала гидромотора.

3. Обоснованы схемы взаимодействия элементов вытеснительной и распределительной систем. Предложены механизм, компенсирующий планетарное движение вытеснителей, аналогичный работе планетарного редуктора, а также торцевое уплотнение выходного конца вала гидромотора, выполненное на основе элементов распределительной системы. Анализ рассмотренной кинематической схемы расположения элементов вытеснительной системы и компенсирующего механизма, а также взаимодействия элементов распределительной системы в гидромоторах

серии PRG, показывает, что предложенная кинематика позволяет разрабатывать планетарные гидромоторы с большой (более 80 кВт) мощностью и большим (более 10000 см³) рабочим объемом.

Список литературы

- Engineering Essentials: Hydraulic Motors. Hydraulics & Pneumatics, 2012. – Available at: <http://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6427/TechZone-HydraulicPumpsM>.
- Hydraulic Motors. Hydraulics & Pneumatics, 2016. – Available at: <http://www.hydraulicspneumatics.com/datasheet/hydraulic-motors-pdf-download>.
- Баумта Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Баумта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
- Бирюков В. Н. Роторно-поршневые гидравлические машины / В. Н. Бирюков. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
- Ерасов Ф. Н. Новые планетарные машины гидравлического привода / Ф. Н. Ерасов. – К: УкрНИИИТИ, 1969. – 55 с.
- Stryczek J. Strength analysis of the polyoxymethylene cycloidal gears of the gerotor pump / J. Stryczek, S. Bednarczyk, K. Biernack // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 14, Is. 4. – P. 647–660.
- Stryczek J. Gerotor pump with POM gears: Design, production technology, research / J. Stryczek, S. Bednarczyk, K. Biernack // Archives of Civil and Mechanical Engineerin. – 2014. – Vol. 14, Is. 3. – P. 391–397.
- Choi T. H. Design of Rotor for Internal Gear Pump Using Cycloid and Circular-Arc Curves / T. H. Choi, M.S. Kim, G.S. Lee, [et al.] // Journal of Mechanical Design. – 2012. – Vol. 134, Is. 1. – P. 449–454.
- Chang Y. J. Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump / Y. J. Chang, J. H. Kim, C.H. Jeon, [et al.] // Journal of Mechanical Design. – 2006. – Vol. 129, Is. 10. – P. 1099–1105.
- Gamez-Montero P. J. Teeth Clearance and Relief Grooves Effects in a Trochoidal-Gear Pump Using New Modules of GeroLAB / P. J. Gamez-Montero, M. Garcia-Vilchez, G. Raush, [et al.] // Journal of Mechanical Design. – 2012. – Vol. 134, Is. 5.
- Marcu I. L. Interconnection Possibilities for the Working Volumes of the Alternating Hydraulic Motors / I. L. Marcu, I. I. Pop // Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara. Special issue: Transactions on Mechanics: The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics. – 2004. – № 49. – P. 365–370.
- Altare G. Computational Fluid Dynamics Analysis of Gerotor Lubricating Pumps at High-Speed: Geometric Features Influencing the Filling Capability / G. Altare, M. Rundo // Journal of Fluids Engineering. – 2016. – Vol. 38, Is. 11.
- Velev E. Study Cavitation Gerotor Motors, Using Computer Simulatio / E. Velev // XV International Scientific Conference: Renewable Energies and Innovative Technologies. Smolyan. Bulgaria, 2016. – P. 64–66.
- Ivanovic L. Analysis of forces and moments in gerotor pumps / L. Ivanovic, N. Miric, G. Devedzic, [et al.] // Journal of Mechanical Engineering Science. – 2010. – Vol. 224, Is. 10. – P. 2257–2269.
- Chiu-Fan H. Flow Characteristics of Gerotor Pumps With Novel Variable Clearance Designs / H. Chiu-Fan // Journal of Fluids Engineering. – 2015. – Vol. 137, Is. 4.
- Ding H. A CFD model for orbital gerotor motor / H. Ding, J.X. Lu, H. Jiang // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2012. – Vol. 15, Is. 6.
- Panchenko A. Modeling of the distribution system of planetary hydraulic motors type PRG / A. Panchenko, A. Voloshina, O. Boltiansky, [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – No 3.
- Панченко А. И. Планетарно-роторные гидромоторы. Расчет и проектирование: монография / А. И. Панченко, А. А. Волошина. – Мелітополь: Люкс, 2016. – 236 с.
- Волошина А. А. Конструктивные особенности гидромашин планетарного типа, применяемых в гидроагрегатах мобильной техники / А. А. Волошина // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Т. 1, вип. 3. – С. 65–86.
- Панченко А. И. Разработка планетарных гидромоторов для силовых гидроприводов мобильной техники / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // MOTROL. – 2015. – Vol. 17, No 9. – С. 29–36.
- Панченко А. И. Способы распределения рабочей жидкости в планетарных гидромашинах / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // Bulletin of NTU "KhPI". Ser.: Hydraulic machines and hydraulic units. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 20(1192). – С. 46–52.
- Панченко А. И. Вплив конструктивних особливостей торцевої розподільної системи на функціональні параметри планетарного гідромотора / А. І. Панченко, А. А. Волошина, А. І. Засядько // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Т. 3, вип. 17. – С. 33–50.
- Панченко А. И. Методика контроля точности изготовления элементов вытеснительных и распределительных систем планетарных гидромашин / А. И. Панченко, А. А. Волошина, С. Д. Гуйва [и др.]. // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Т. 2, вип. 16. – С. 3–27.

References (transliterated)

- Engineering Essentials: Hydraulic Motors. Hydraulics & Pneumatics, 2012. <<http://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6427/TechZone-HydraulicPumpsM>>.
- Hydraulic Motors. Hydraulics & Pneumatics, 2016. <<http://www.hydraulicspneumatics.com/datasheet/hydraulic-motors-pdf-download>>.
- Bashta, T. M. *Mashinostroitelnaya gidravlika*. Moscow: Mashinostroyeniye, 1971. Print.
- Biryukov, V. N. *Rotorno-porshnevyye gidravlicheskiye mashiny*. Moscow: Mashinostroyeniye, 1977. Print.
- Yerasov, F. N. *Novyye planetarnyye mashiny gidravlicheskogo privoda*. Kiev, 1969. Print.
- Stryczek, J., S. Bednarczyk and K. Biernack "Strength analysis of the polyoxymethylene cycloidal gears of the gerotor pump" *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14.4 (2014): 647–660. Print.
- Stryczek, J., S. Bednarczyk and K. Biernack "Gerotor pump with POM gears: Design, production technology, research" *Archives of Civil and Mechanical Engineerin*. 14.3 (2014): 391–397. Print.
- Choi, T. H., et al. "Design of Rotor for Internal Gear Pump Using Cycloid and Circular-Arc Curves" *Journal of Mechanical Design*. 134.1 (2012). Print.
- Chang, Y. J., et al. "Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump" *Journal of Mechanical Design*. 129.10 (2006): 1099–1105. Print.
- Gamez-Montero, P. J., et al. "Teeth Clearance and Relief Grooves Effects in a Trochoidal-Gear Pump Using New Modules of GeroLAB" *Journal of Mechanical Design*. 134.5 (2012). Print.
- Marcu, I. L. and I. I. Pop "Interconnection Possibilities for the Working Volumes of the Alternating Hydraulic Motors" *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara. Special issue: Transactions on Mechanics: The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics*. No 49. 2004. 365–370. Print.
- Altare, G. and M. Rundo "Computational Fluid Dynamics Analysis of Gerotor Lubricating Pumps at High-Speed: Geometric Features Influencing the Filling Capability" *Journal of Fluids Engineering*. 38.11 (2016). Print.
- Velev, E. "Study Cavitation Gerotor Motors, Using Computer Simulatio" *XV International Scientific Conference: Renewable Energies and Innovative Technologies*. Smolyan: Bulgaria, 2016. 64–66. Print.
- Ivanovic, L. et al. "Analysis of forces and moments in gerotor pumps" *Journal of Mechanical Engineering Science*. 224.10 (2010): 2257–2269. Print.
- Chiu-Fan, H. "Flow Characteristics of Gerotor Pumps With Novel Variable Clearance Designs" *Journal of Fluids Engineering*. 137.4 (2015) Print.
- Ding, H. A, J. X. Lu, and H. Jiang "CFD model for orbital gerotor motor" *IOP Conference Ser.: Earth and Environmental Science*. No 15.6. 2012. Print.
- Panchenko, A., et al. "Modeling of the distribution system of planetary hydraulic motors type PRG" *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3 (2018) Print.
- Panchenko, A. I. and A. A. Voloshina *Planetarno-rotornyeye*

- gidromotory. Raschet i proyektirovaniye: monografiya.* Melitopol: Lyuks, 2016. Print.
19. Voloshyna, A. A. "Konstruktyvnye osobennosti hydromashyn planetarnogo tipa, prymenaemykh v hydroahrehatakh mobil'noy tekhniki" *Naukovyy visnyk TSATU.* Melitopol: TSATU, 2013. No 3.1. 65–86. Print.
 20. Panchenko, A.I., A. A. Voloshina and I. A. Panchenko "Razrabotka planetarnykh gidromotorov dlya silovykh gidroprivodov mobil'noy tekhniki", // *MOTROL.* No 17.9. 2015. 29-36. Print.
 21. Panchenko, A. Y., A. A. Voloshyna, and Y. A. Panchenko "Sposoby raspredeleniya rabochey zhydkosti v planetarnykh hydromashynakh" *Bulletin of NTU "KhPI". Ser.: Hydraulic machines and hydraulic units.* No 20(1192). Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. 46–52. Print.
 22. Panchenko, A. I., A. A. Voloshyna, and A. I. Zasyad'ko "Vplyv konstruktyvnykh osoblyvostey tortsevoyi rozpodil'noyi systemy na funktsional'ni parametry planetarnoho hidromotora" *Pratsi TSATU.* Melitopol, 2017. No. 17.3. 33–50. Print.
 23. Panchenko, A. Y. et al. "Metodyka kontrolya tochnosti yz-hotovlenyya élementov vytesnytel'nykh y raspredelytel'nykh system planetarnykh hydromashyn" *Pratsi TSATU.* Melitopol, 2016. No. 16.2. 3–27. Print.

Поступила (received) 02.04.2018

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Конструктивные особенности планетарных гидромоторов серии PRG / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 17(1293) – С. 88–95 – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2411-3441.

Конструктивные особенности планетарных гидромоторов серии PRG / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 17(1293) – С. 88–95. – Библиогр.: 23 назв. – ISSN 2411-3441.

Design features of the planetary hydraulic motors of PRG series / A. I. Panchenko, A. A. Voloshina, I. A. Panchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units. – Kharkov : NTU "KhPI", 2018. – No. 17 (1293). – P. 88–95. – Bibliogr.: 23. – ISSN 2411-3441.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Панченко Анатолій Іванович – доктор технічних наук, професор, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри мобільних енергетичних засобів, м. Мелітополь; тел.: (097)55-40-500, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.

Панченко Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, Таврический государственный агротехнологический университет, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств, г. Мелитополь; тел.: (097)55-40-500, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.

Panchenko Anatoly Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Tavria State Agrotechnological University, Head of the Department of mobile power means, Melitopol; tel.: (097)55-40-500, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.

Волошина Анжела Анатоліївна – доктор технічних наук, професор, Таврійський державний агротехнологічний університет, професор кафедри мобільних енергетичних засобів, м. Мелітополь; тел.: (097)526-26-03, e-mail: voloshinaa2012@gmail.com.

Волошина Анжела Анатольевна – доктор технических наук, профессор, Таврический государственный агротехнологический университет, профессор кафедры мобильных энергетических средств, г. Мелитополь; тел.: (097)526-26-03, e-mail: voloshinaa2012@gmail.com.

Voloshina Angela Anatolievna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Tavria State Agrotechnological University, Full Professor at the Department of mobile power means, Melitopol, tel.: (097)526-26-03, e-mail: voloshinaa2012@gmail.com.

Панченко Ігор Анатолійович – асистент, Таврійський державний агротехнологічний університет, асистент кафедри мобільних енергетичних засобів, м. Мелітополь, тел.: (096)121-40-87, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.

Панченко Игорь Анатольевич – ассистент, Таврический государственный агротехнологический университет, ассистент кафедры мобильных энергетических средств, г. Мелитополь, тел.: (096)121-40-87, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.

Panchenko Igor Anatolievich – Assistant, Tavria State Agrotechnological University, Assistant at the Department of mobile power means, Melitopol, tel.: (096)121-40-87, e-mail: tia_tgatu@ukr.net.