

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РАДИАЛЬНОПОРШНЕВЫХ ГИДРОМОТОРОВ
ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ****ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF THE RADIAL PISTON HYDRAULICS
MOTORS OF SINGLE-ACTING**

Приведен анализ конструкций радиальнопоршневых гидромоторов однократного (эксцентрикового) действия, которые по принципу работы класса HTLS – высокомоментных тихоходных гидромоторов, находящие широкое применение в разных отраслях промышленности, в частности, в мобильных и стационарных машинах как привод хода, грузоподъемных механизмах, землеройных машинах, машинах для литья под давлением и т.д., создавая в ряде случаев конкуренцию аксиальнопоршневым гидромоторам с планетарными редукторами. Современные гидромоторы имеют поршневые группы с низким уровнем трения, обеспечивают бесступенчатое регулирование рабочего объема, оснащаются тормозами, датчиками частоты вращения и другими компонентами, которые обеспечивают конструктору удобство при проектировании гидроприводов и снижения их габаритно-массовых показателей. Ведущими производителями гидромоторов однократного действия является фирмы “Riva Calzoni” and “Sai” (Италия), “Kawasaki Motors Corp.” (США), “Rotary Power” (Англия), а в странах СНГ Людиновский агрегатный (Россия) и “Стройгидравлика” (Украина) заводы.

Ключевые слова: гидромотор, крутящий момент, частота вращения, поршневая группа, давление, распределитель, объемный гидропривод.

Введение

Радиально-поршневые гидромоторы однократного (эксцентрикового) принципа действия (РПГОД) нашли широкое применение в качестве приводов вращательно-го движения в различных машинах и механизмах стационарного и мобильного применения, поэтому представляет интерес рассмотреть их современный технический уровень.

Основными конструктивными элементами радиально-поршневых гидромоторов однократного принципа действия являются механизм передачи движения от поршней к выходному звену и распределительное устройство, с помощью которого рабочие (поршневые) камеры попеременно сообщаются с полостями входа и выхода рабочей жидкости.

Радиальнопоршневые гидромоторы однократного принципа действия нашли широкое применение в объемных гидроприводах (ОГП):

- термопластавтоматах, металлорежущих и деревообрабатывающих станках, сталепрокатных станах;
- башенных кранах, конвейерах и траловых лебедках;
- горном оборудовании;
- дорожных катках, бульдозерах, гусеничных и колесных экскаваторах, вилочных погрузчиках;
- тракторах, снегоходах, лесовозах с манипуляторами;
- миксерах для перевозки бетона;
- зерноуборочных комбайнах и машинах для сбора фруктов.

В Украине радиальнопоршневые гидромоторы однократного (эксцентрикового) принципа действия выпуска-

ются в ограниченной номенклатуре, поэтому ознакомление с ведущими достижениями мировых производителей, систематизация такого материала и его анализ окажут влияние на формирование актуальных задач для конструкторов и ученых в области объемных гидроприводов, откроют для потребителей более широкие возможности подбора гидрооборудования, и, безусловно, будут являться стимулом для развития отечественной конкурентоспособной промышленности.

Основная часть

В бывшем СССР серийное производство радиальнопоршневых эксцентриковых высокомоментных гидромоторов однократного действия начато около 40 лет тому назад Людиновским агрегатным заводом (Калужская обл.) по конструкции ВНИИГидропривода [1] и по лицензиям западноевропейских фирм заводами “Стройгидравлика” (Одесса) и “Красный экскаватор” (в настоящее время ОАО “АТЭК”, Киев). До образования СНГ предприятия Украины выпускали более 10000 высокомоментных гидромоторов в год, что составляло около 50% от общего количества выпускаемых в стране. Одной из пионерских разработок являются радиальнопоршневые гидромоторы однократного принципа действия модели Staffa, представляемые в настоящее время на рынке фирмами Antech hydraulics (Англия) и Kawasaki Motors Corp. (США) [2]. Эти гидромоторы производятся более 50 лет и широко используются в горной промышленности, строительно-дорожных машинах, морских судах, машинах для переработки пластмасс и др. Гидромоторы серии НМВ с постоянным рабочим объемом

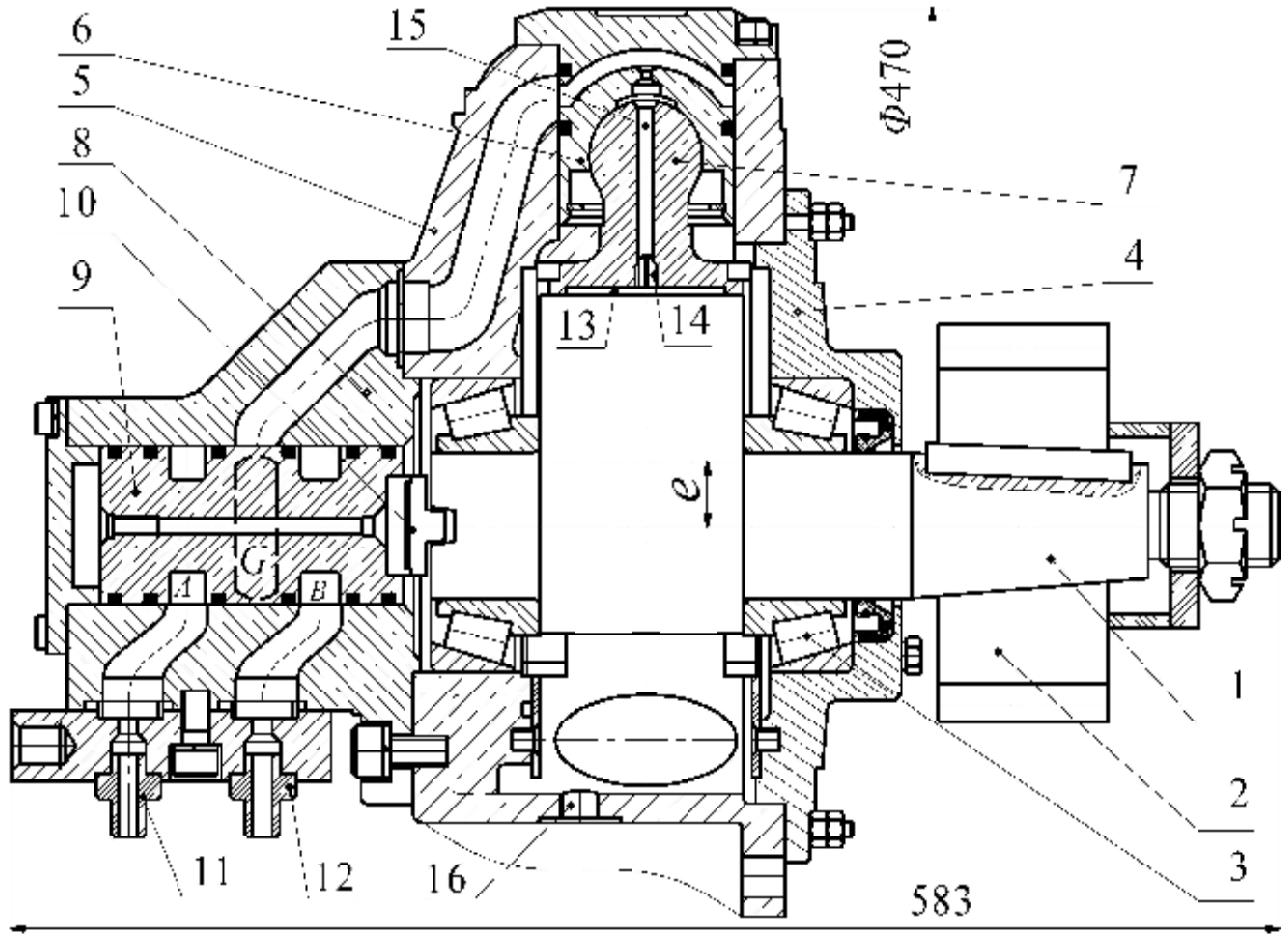


Рисунок 1 — Радиальнопоршневого гидромотор производства ОАО "АТЭК"

от 188 до 11600 см³ (12 типоразмеров) предназначены для работы на номинальном давлении 21 и 25 МПа. Номинальная частота вращения гидромоторов от 500 до 100 мин⁻¹, выходная мощность от 25 до 240 кВт, масса от 73 до 1050 кг. Серия НМС состоит из 7 моделей с регулируемым рабочим объемом от 492 до 5326 см³. Два значения рабочего объема (максимальное и минимальное) предварительно устанавливаются по заказу. Масса гидромоторов от 100 до 460 кг. Гидромоторы "Staffa" имеют кинематическую кривошипно-шатунную схему с гидростатической опорой шатуна на эксцентриковый вал и сферическое сочленение верхней головки шатуна с поршнем.

В Украине гидромотор типа НМВ080 (ранее В080) производится ОАО "АТЭК" (рисунок 1) более 30 лет, однако имеет сниженные значения давления и частоты вращения (гидромотор с рабочим объемом 1340 см³ предназначен для работы на давлении до 17,5 МПа и частоте вращения до 100 мин⁻¹). Масса гидромотора 150 кг. В конце 1980-х годов заводом выпускалось до 6000 гидромоторов в год для привода хода и поворота платформы экскаватора и обеспечивался ремонт до 1200 шт. Гидромотор содержит эксцентриковый вал 1, на который насажена шестерня 2 привода вращения рабочего органа, установленный в конических радиально-упорных подшипниках 3 передней крышки 4 и корпуса 5. В радиаль-

ных расточках корпуса 5 установлены поршни 6 и шатуны 7, опирающиеся на эксцентриковый кулачок вала 1. К корпусу 6 прикреплен блок 8 распределительного узла, в котором установлена цапфа 9, вращение которой от вала 1 передается муфтой 10. Подвод рабочей жидкости к кольцевым коллекторам А и В цапфы осуществляется с помощью соответствующих каналов в блоке 8 и штуцеров 11 и 12. Сообщение кольцевых коллекторов с двумя (нагнетания и слива) распределительными дугообразными окнами G (одно из окон показано пунктиром на цапфе) выполнено с помощью сверлений в теле цапфы. Для разгрузки опорной поверхности шатуна 7 служит камера 13, к которой рабочая жидкость из надпоршневой полости постоянно подводится через жиклер 14 и отверстие 15 в шатуне. Для отвода утечек рабочей жидкости из корпуса гидромотора служит дренажное отверстие 16.

Рабочий объем радиальнопоршневого гидромотора однократного действия определяют по формуле

$$V_p = 10^{-3} \cdot S_n \cdot h \cdot z \cdot y = 10^{-3} \cdot S_n \cdot 2e \cdot z \cdot y, \text{ см}^3,$$

где $S_n = \pi \cdot d^2 / 4$ — площадь одного поршня, мм², диаметром d , $h = 2e$ — ход поршня, равный удвоенному эксцентриситету e вала, мм, z и y — количество поршней и рядов поршней, соответственно.

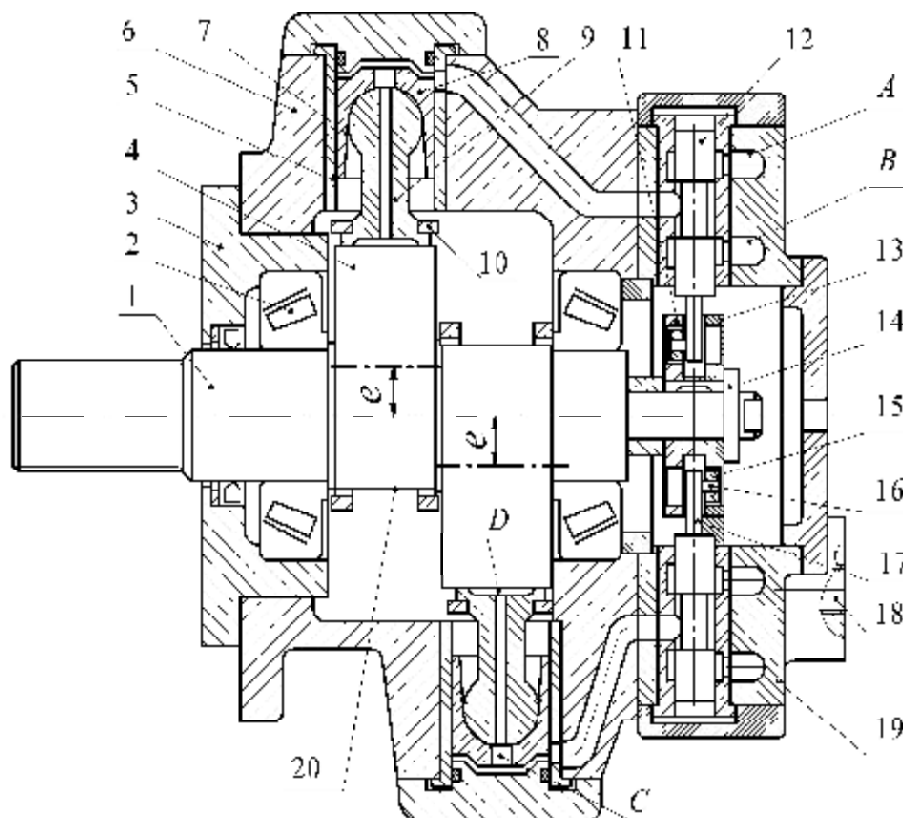


Рисунок 2 — Радиальнопоршневого гидромотора однократного действия МРФ- V_p / 25М с индивидуальным золотниковым распределением конструкции ВНИИГидропривода (выпускался серийно до 1986 г.)

Аналогичные по кинематической схеме гидромоторы производит Людиновский агрегатный завод [1;3]. Основным отличием конструкции являлось применение золотникового, индивидуального для каждого поршня, распределительного узла. В настоящее время выпускаются модернизированные гидромоторы пяти рабочих объемов от 160 до 1600 $см^3$ на номинальное давление 25 и максимальное 32 МПа, в которых установлен цапфенный распределительный узел. Гидромоторы с рабочим объемом до 400 $см^3$ имеют роликовые подшипниковые опоры шатунов на эксцентриковом кулачке, а остальные типоразмеры выполнены с гидростатической разгрузкой шатунов.

Радиальнопоршневого гидромотора с золотниковым распределением рабочей жидкости (рисунок 2) содержит вал 1 с эксцентриковыми цилиндрическими кулачками 4, установленный в конических радиально-упорных подшипниках 2 крышки 3 и корпуса 6. В радиальных расточках корпуса 6 установлены посредством прессовой посадки втулки 5, в которых размещены поршни 8, внутренняя сферическая поверхность которых является опорой шатунов 9, зафиксированных в поршнях замковыми кольцами 7. Шатуны 9 опираются на цилиндрическую поверхность 20 эксцентрикового кулачка 4, образуя герметичные камеры разгрузки D. Для сообщения рабочей жидкости с камерой разгрузки D в поршнях и шатунах выполнены отверстия C. Параметры камеры разгрузки (опорная поверхность и поверхность, находящаяся непосредственно под давлением рабочей жидкости) выбираются из условия обеспечения минимального уровня

механических потерь и утечек рабочей жидкости. Кинематическая связь шатунно-поршневых групп с поверхностью 20 эксцентриковых кулачков 4 вала обеспечивается с помощью колец 10. Золотники 12, индивидуальные для каждого поршня 8, и имеющие привод возвратно-поступательного перемещения от кулачков 11 и 13 первого и второго ряда поршней, соответственно, установлены на хвостовике вала 1 гидромотора и зафиксированы от осевого смещения шайбой 14. С целью снижения механических потерь в приводе кулачковых механизмов оси 16 стоек 17 золотников 12 установлены в шариковых подшипниках 15. Блок 19 распределения прикреплен к корпусу 6 гидромотора. Утечки рабочей жидкости по зазорам поршневых пар, камер разгрузки шатунов и золотников отводятся из корпуса гидромотора через отверстие 18 в блоке 19. Подвод рабочей жидкости к гидромотору и отвод на слив осуществляется с помощью кольцевых коллекторов A и B.

Гидромоторы представляли собой двухрядную конструкцию блока цилиндров (по пять или семь поршней в ряду) с кривошипно-шатунным механизмом, и золотниковым, индивидуальным для каждого поршня, распределителем рабочей жидкости.

По мере расширения серийного производства гидромоторов и совершенствования технологии изготовления, анализа эксплуатационных наблюдений и требований потребителей было установлено, что двухрядная компоновочная схема гидромотора и конструкция шатунно-поршневых групп обеспечивают ресурс при работе на номинальных параметрах более чем 3000 ч. Однако ниж-

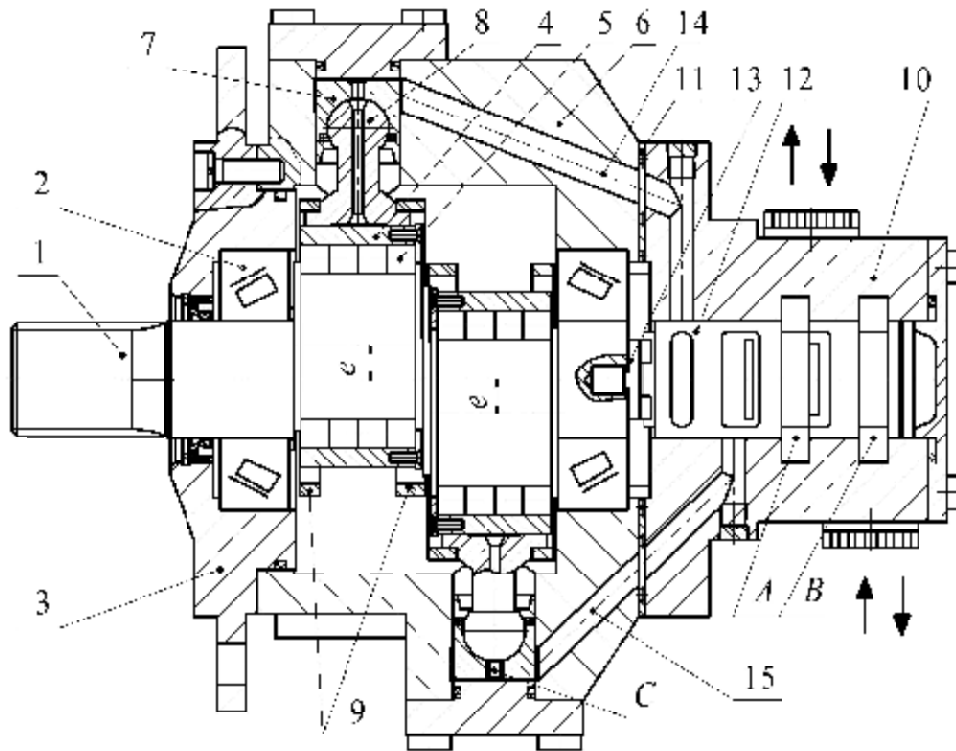


Рисунок 3 — Радиальнопоршневой гидромотор МРФ- V_p /25М1 с цапфенным распределением конструкции ВНИИГидропривода (выпускается Людиновским агрегатным заводом с 1987 г. по настоящее время)

ний предел КПД при приемо-сдаточных испытаниях (85%) и масса гидромоторов уступают гидромоторам иномарки. В эксплуатации имели место случаи нестабильной по равномерности вращения и пульсациям давления работы гидромоторов. Кроме того, гидромоторы имели высокую трудоемкость изготовления из-за необходимости использования стальных корпусов (поковок) вместо литых чугунных для золотникового распределителя с большим числом прецизионных пар и сварных коллекторов для сообщения золотников с магистралями гидросистемы. Поэтому возникла необходимость модернизации гидромоторов в целях повышения и стабилизации технических параметров, снижения массы и трудоемкости изготовления. В результате научно-исследовательских работ, проведенных ВНИИГидроприводом совместно с Людиновским агрегатным заводом, были созданы гидромоторы МРФ- V_p /25М1, отличающиеся более долго-вечными коренными подшипниками и цапфенным распределителем вместо золотникового [3]. В модернизированной конструкции, например, для базового образца с рабочим объемом 400 см³, удалось добиться общего КПД в 90%, снизить массу с 90 до 78 кг, повысить ресурс с 3000 до 4000 ч, стабилизировать работу на минимальной частоте вращения и существенно снизить трудоемкость изготовления.

Усовершенствованный гидромотор (рисунок 3) содержит вал 1 с эксцентриковыми кулачками и обоймами 4 на насыпных роликовых подшипниках 5, установленный в подшипниках 2 передней крышки 3 и корпуса 6. Поршни 7 и шатуны 8 установлены в радиальных расточках силового корпуса 6. Кинематическая связь между

поршневыми группами и обоймами 4 эксцентрикового вала 1 обеспечивается с помощью колец ведения 9. Корпус распределителя 10 крепится к силовому корпусу 6 посредством промежуточной пластины 11 с уплотнительными кольцами (по типу модульной аппаратуры) и содержит цапфу 12, привод вращения которой от вала 1 осуществляется с помощью муфты 13. В корпусе распределителя 10 выполнены кольцевые коллекторы А и В для сообщения с цапфой 12 и магистралями гидросистемы. Сообщение поршневых камер гидромотора с распределительным узлом осуществляется посредством каналов 14 и 15 в силовом корпусе 6. Отверстие С служит для смазки сферической опоры шатуна 8 и частичной разгрузки его пяты. Давлением рабочей жидкости создается усилие, действующее на поршни 7, движущиеся от верхней “мертвой” точки к нижней. Усилие поршней передается на шатуны 8 и через обоймы 4 подшипников на эксцентрики вала 1, создавая крутящий момент и приводя во вращение вал гидромотора.

Другая часть поршней в это время движется от нижней “мертвой” точки к верхней, вытесняя рабочую жидкость по каналам корпуса через распределитель 12 в соответствующий кольцевой коллектор А или В, сообщенный со сливной магистралью гидросистемы. Реверсирование вращения вала гидромотора достигается за счет изменения направления подвода рабочей жидкости к кольцевым коллекторам А и В с помощью гидрораспределителя в незамкнутой цепи циркуляции рабочей жидкости или реверсивного насоса, работающего совместно с гидромотором в замкнутой цепи циркуляции рабочей жидкости.

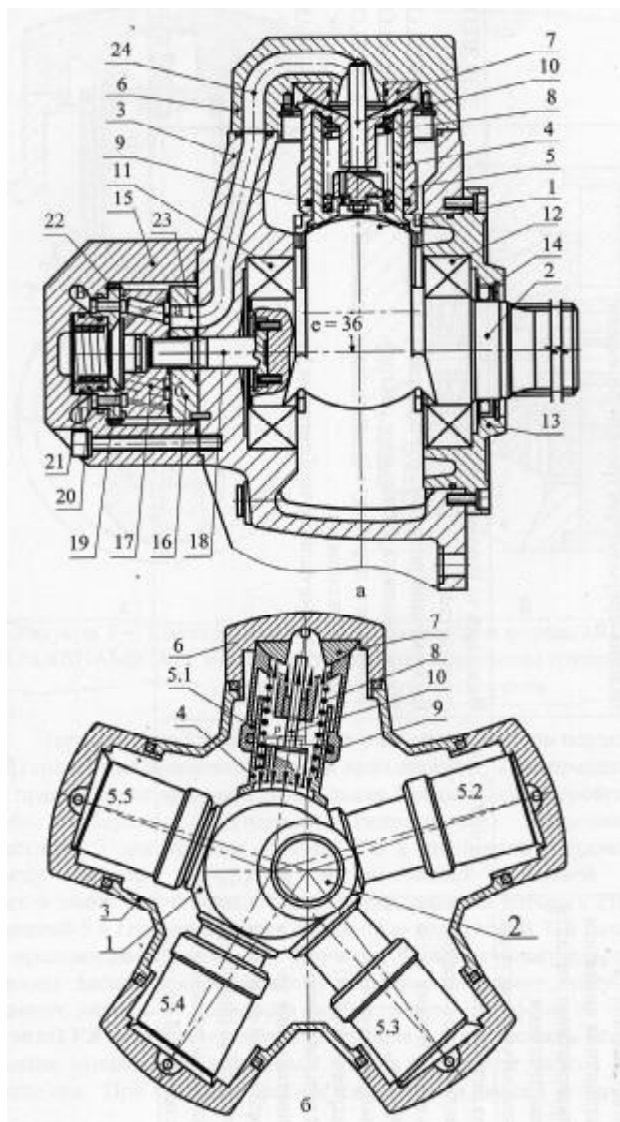


Рисунок 4 — Гидромотор типа MP1800
ОАО "Стройгидравлика" [4]

На рисунке 4 представлен гидромотор итальянской фирмы *Riva Calzoni Oliodinamica*, выпускаемый по лицензии ОАО "Стройгидравлика" (Одесса) [1,4]. Оригинальность конструкции заключается в поршневой группе типа "качающаяся кулиса", обеспечивающей отсутствие боковых нагрузок на цилиндры. В расточках звездообразного корпуса 3 и передней крышки 13, отлитых из серого чугуна, на двухрядных роликовых подшипниках 11 и 12 установлен вал 2. Рабочая наружная поверхность эксцентрикового кулачка 1 вала 2 имеет сферическую форму и покрыта молибденом толщиной до 0,4 мм. На эксцентриковый кулачок 1 опираются пять полых поршней 4 со сферическими опорными поверхностями. Поршни установлены в соответствующих цилиндрах 5.1–5.5, которые своими верхними сферическими торцами опираются на сферические вставки 7, установленные в крышках 6. Оси сфер вставки 7 и эксцентрикового кулачка 1 совпадают друг с другом. Пружина 8 обеспечивает пус-

ковой прижим поршня 4 к эксцентриковому кулачку 1 и цилиндра 5 к сферической вставке 7. Между поршнем и цилиндром установлено уплотнение 9. Направляющий стержень 10 обеспечивает монтажное центрирование поршня и цилиндра. В передней крышке 13 установлено уплотнение 14. Гидромотор снабжен торцовым распределительным узлом, содержащим чугунную крышку 15, неподвижный 16 и вращающийся распределительные диски 17, прижимной диск 19 и дифференциальный (ступенчатый) поршень 20. Распределительный диск 17 приводится во вращение муфтой 18, соединенной с выходным валом 2. Пусковой прижим дисков 19 и 17 к распределительному диску 16 обеспечивается пружиной 21. Прижимной диск 19 удерживается от проворота штифтами 22. В распределительном вращающемся диске 17 выполнены дугообразные пазы "а" и "б", сообщенные с магистралями насоса посредством коллекторов в задней крышке "В" и "Г" соответственно. В неподвижном диске 16 выполнены отверстия 23 для сообщения с помощью каналов 24 с рабочими камерами, образованными поршнями 4 и цилиндрами 5.

При работе гидромотора рабочая жидкость от насоса подается через литой канал "В" в задней крышке 15 и отверстие в прижимном диске 19 к вращающемуся диску 17 и посредством дугообразного паза "а" к неподвижному диску 16 и далее через отверстие в нем 23 и канал 24 к рабочей камере гидромотора. Поскольку поршень 4 и цилиндр 5 рабочей камеры представляют собой два полых цилиндрических стакана с отверстиями, телескопически соединенных между собой с помощью направляющего стержня 10, то давлением рабочей жидкости создается усилие на поверхность эксцентрикового кулачка 1. Это усилие создает крутящий момент на эксцентриковом кулачке 1 и приводит вал 2 гидромотора во вращение. Герметичность поршня 4 с поверхностью эксцентрикового кулачка 1 и цилиндра 5 со вставкой 7 обеспечивается качественной геометрией сферических поверхностей контртел. Снижение утечек рабочей жидкости между поршнями и цилиндрами обеспечивается уплотнительным резиновым кольцом круглого сечения 9 и плоским кольцом из тефлона с добавкой молибдена. Слив рабочей жидкости из рабочей камеры при движении поршня 4 от нижней "мертвой" точки вверх осуществляется через канал "Г" в задней крышке 15. Для изменения направления вращения вала гидромотора подают рабочую жидкость от насоса в канал "Г", а ее вытеснение в гидробак происходит через канал "В". Значение частоты вращения гидромотора пропорционально расходу насоса.

Механические и объемные потери в поршневых группах гидромотора сведены к минимуму благодаря оптимальной схеме гидростатической разгрузки опор поршней 4 на эксцентриковом кулачке 1. Покрытие молибденом трущихся поверхностей обеспечивает высокую износостойкость пар трения на режимах граничной смазки при пуске под нагрузкой и при длительной эксплуатации.

При эксплуатации гидромоторов следует обращать внимание на характер их работы — вращение с постоянной скоростью вращения или режимы с частым реверси-

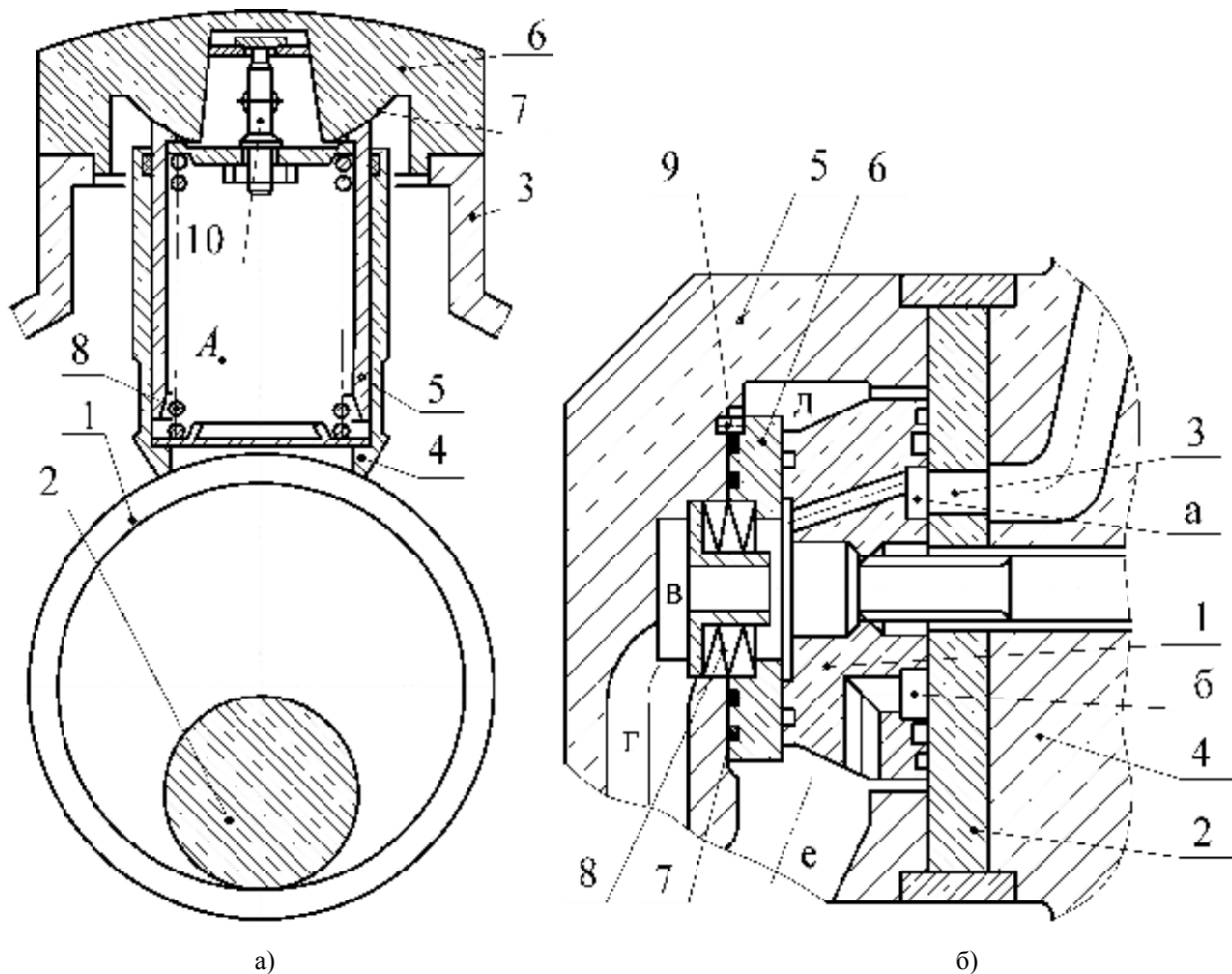


Рисунок 5 — Конструкции узлов гидромоторов фирмы "Riva Calzoni Oleodinamica":
 а) модернизированная поршневая группа; б) — распределительный узел первых выпусков

рованием. В последнем случае во избежание кавитации и отрыва поршней от опорного эксцентрикового кулачка при переходе гидромотора в насосный режим требуется создание постоянного давления подпитки до 0,7 МПа. Такое требование обусловлено спецификой кинематики с пружинным поджимом поршней к эксцентриковому валу, когда при высоких динамических нагрузках усилия пружин недостаточны.

В настоящее время гидромоторы фирмы *Riva Calzoni Oleodinamica* рекламируются фирмой *Denison*, входящей в *Parker Hydraulics* (США). В состав продукции фирмы входят несколько серий гидромоторов, в том числе с постоянным и регулируемым рабочим объемом [5–7].

Рабочий объем гидромоторов от 32 до 23034 см³ (68 моделей). По давлению нагнетания рабочей жидкости (постоянному, максимальному рабочему и пиковому кратковременному) гидромоторы выпускаются в модификациях "E" (21/25/35 МПа) и "F" (25/30/42 МПа), имеют высокий пусковой момент (90–95% от теоретического), объемный КПД до 98%, общий КПД до 96% и допускают работу при температуре рабочей жидкости до 80 °С.

В процессе длительного производства и накопленного опыта эксплуатации гидромоторы фирмы "Calzoni"

подвергались модернизации. На рисунке 5, а приведены конструкции новой поршневой группы, в которой на эксцентриковый кулачок 1 вала 2 опираются возвратно-поступательно перемещающиеся цилиндры 4, в которых размещаются поршни 5. Опорами поршней служат крышки 6, скрепленные с корпусом 3 и имеющие внутренние сферические поверхности 7. Пружины 8 обеспечивают стартовое (пусковое) кинематическое замыкание рабочих камер (полостей) цилиндров 4, образованных эксцентриковым кулачком 1, поршнем 5 и его верхней сферической опорой 7 в крышке 6 корпуса 3 гидромотора.

Торцовый распределительный узел гидромоторов первых выпусков (рисунок 5, б) состоит из вращающегося 1 и неподвижного 2 распределительных дисков. На правом торце вращающегося диска 1 выполнены дугообразные каналы "а" и "б", сообщаемые с магистралями гидросистемы. Неподвижный диск 2 с отверстиями 3 для подвода (отвода) рабочей жидкости к цилиндрам гидромотора установлен между силовым корпусом 4 и задней крышкой 5. Прижимной диск 6 имеет две опорные поверхности, одна из которых стыкуется с задней крышкой 5 и герметизируется с помощью уплотнений 7, а вторая контактирует с вращающимся диском 1. Пружина 8 обеспечивает стартовый (пусковой) прижим диска 1 к неподвижному распределительному диску 2. Фиксация при-

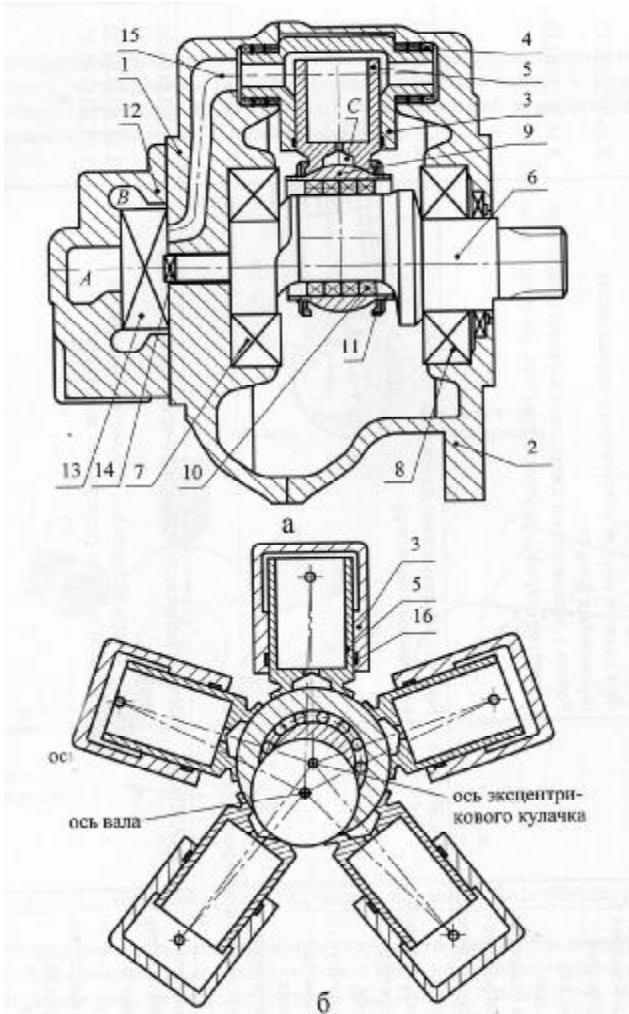


Рисунок 6 — Гидромотор серии SH фирмы "Sai" (Италия) в продольном (а) и поперечном разрезе

жимного диска 6 от проворота осуществляется штифтом 9. Полости подвода (отвода) рабочей жидкости выполнены в задней крышке 5 и образованы осевым "в" и радиальным каналом "г", кольцевым "д" на периферии диска 1 и радиальным каналом "е". При вращении распределительного диска 1 его дугообразные окна нагнетания "а" и слива "б" сообщаются с цилиндрами гидромотора (при реверсе гидромотора окно "а" становится сливным, а "б" нагнетательным), обеспечивая подвод и отвод рабочей жидкости. В такой конструкции герметичность распределительного узла обеспечивается торцовыми уплотнениями 7, поэтому осевое перемещение дисков 6 и 1 ограничены. В современной конструкции (рисунок 4, а) дифференциальный поршень 20 снабжен радиальными уплотнениями, не ограничивающими его осевого перемещения.

Фирма Sai (Италия) производит широкую гамму гидромоторов оригинальной конструкции (рисунок 6), состоящих из корпуса 1 и передней крышки 2, в осевых расточках которых установлены цилиндры 3 на подшипнико-уплотнительных узлах 4, а в расточках цилиндров установлены поршни 5. Вал 6 гидромотора установлен в

подшипниках качения 7 и 8, и имеет эксцентричный кулачок, на который установлена сферическая обойма 9 с роликовыми подшипниками качения 10. Поршни 5 опираются своим нижним торцом на обойму 9. С помощью колец 11 обойма 9 удерживается от осевого перемещения вдоль вала 6. В задней крышке 12 установлен торцовый распределительный диск 13, вращению которого от вала 6 передается с помощью муфты 14. Подвод рабочей жидкости к цилиндрам 3 и поршням 5 гидромотора обеспечивается с помощью каналов 15 в корпусе 1. Уплотнение 16 обеспечивает герметичность пары поршень-цилиндр. Гидростатическая разгрузка поршней обеспечивается путем подачи рабочей жидкости в зону обоймы 9 эксцентрикового кулачка вала 6 через отверстие в поршне 5. Принцип работы гидромотора заключается в том, что при подводе рабочей жидкости в цилиндр 3 усилие, создаваемое давлением, действует на поршень 5 вдоль его оси и оси обоймы 9 эксцентрикового кулачка вала 6. Момент вращения вала создается за счет плеча, образуемого между осевой силой со стороны поршня и осью эксцентрикового кулачка вала. Гидромоторы фирмы Sai характеризуются высокими значениями общего КПД, достигающего 93–95% при давлении 40 МПа, возможностью работы в широком диапазоне изменения частот вращения, высоким пусковым моментом, равномерностью вращения, минимальными значениями массы по сравнению с аналогичными конструкциями гидромоторов и др.

Всего фирмой Sai выпускается более 200 типоразмеров гидромоторов, в том числе с регулируемым рабочим объемом, сосредоточенных в 5 сериях [8;9], с рабочим объемом от 40 до 12000 см³ на номинальное давление 25 МПа и максимальное (пиковое) до 42 и даже 80 МПа.

На рисунке 7 показаны: а — силы, действующие со стороны поршня на эксцентриковый кулачок; б — силовая схема гидромотора с пятью поршнями, три из которых создают крутящий момент, а два находятся в зоне низкого давления (слива рабочей жидкости); в — векторная диаграмма поршневых сил гидромотора.

Рекордными для высокомоментных гидромоторов являются достигнутые фирмой Sai минимальные значения утечек рабочей жидкости в поршневых группах и распределительном узле, не превышающие 0,18–1,2 л/мин при давлении 40 МПа и кинематической вязкости 40 мм²/с, что соответствует значениям коэффициента утечек (утечек, отнесенных к единице давления) в пределах (4,5–30) 10⁻³ л/(мин, МПа).

Фирма Sai обладает большим опытом эксплуатации гидромоторов в объемных гидроприводах промышленного (стационарного) и мобильного применения — термомпластавтоматы, башенные краны, конвейеры, горное оборудование, судовые лебедки, дорожные катки, бульдозеры, гусеничные экскаваторы и зерноуборочные комбайны. Собранные фирмой статистические данные позволяют провести оценку действующих реальных нагрузок (давлений), значений частот вращения, мощности и достигаемой при этих условиях эксплуатации долговечности гидромоторов. Рабочее давление составляет порядка

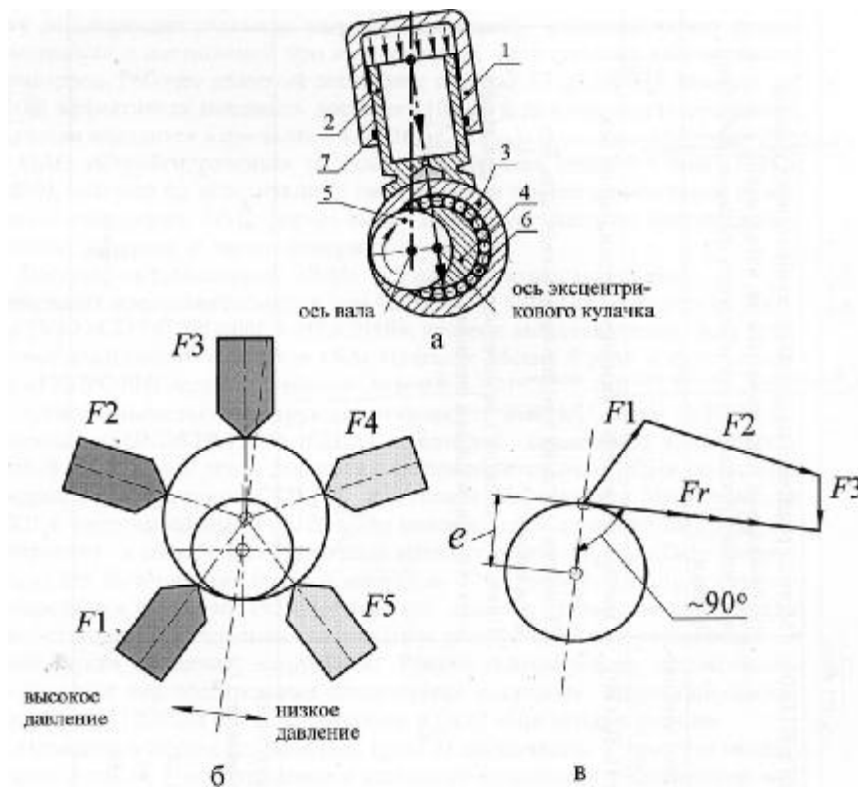


Рисунок 7 — Принцип работы гидромоторов фирмы "Sai" (Италия)

10–25 МПа, пиковое до 40 МПа, эффективная мощность достигает 100 кВт, долговечность подшипников качения находится в пределах в 4–20 тыс. ч.

ОАО "Стройгидравлика" выпускает радиально-поршневые гидромоторы однократного принципа действия типа ГРВ420 (600;630), которые по конструкции, габаритным и присоединительным размерам идентичны серии GM2 фирмы Sai, однако уступают по максимальным значениям давления и частот вращения.

Поставку гидромоторов Sai в Украину осуществляет ряд региональных представительств, в том числе ООО "Мотор-Импекс" (Харьков) и ООО "СП Гидролига-Италия", которое является совместным предприятием итальянской компании Sai Hydraulic Motors S.p.A и группы компаний "ГидролигаТМ".

Оригинальностью конструкции отличаются радиально-поршневые гидромоторы однократного принципа действия серии MN373-JC-G4 фирмы Sundstrand (США), в которой совмещены кривошипно-кулисный механизм ведения поршней с распределительным узлом сообщения цилиндров с магистралями объемными гидроприводами [1]. В Украине гидромоторы MN373 модели 60-K921 с рабочим объемом 6112 см³ на максимальное давление 28 МПа эксплуатируются в составе объемных гидроприводов ковшочных манипуляторов фирмы "Davu-Loewy" (Англия) для изготовления поковок массой до 120 т, работа в составе которых характеризуется высокими статическими (по давлению и частоте вращения) и

динамическими (по интенсивности и частоте режимов разгона, торможения и реверсирования вращения) нагрузками. Ремонт гидромоторов, послеремонтную обкатку и диагностирование технического состояния ведут харьковские предприятия КП ХКБМ им. А.А.Морозова и ООО "Промгидропривод".

Принцип действия гидромотора (рисунок 8) заключается в том, что эксцентриковый кулачок 7 одновременно с силовыми функциями (обеспечения возвратно-поступательного перемещения поршней в кривошипно-кулисном механизме) выполняет роль цапфенного распределителя [1]. При этом рабочая жидкость от коллектора 12 через распределительную втулку 4 и каналы в валу 8 подводится к нагнетательному и сливному окнам эксцентрикового вала. На эксцентриковый вал насажена с минимальным зазором пятигранная направляющая втулка 6, к которой при помощи пружин 1 поджаты поршни 2, перемещающиеся в расточках блока цилиндров 10 (закрываются крышками 11). Эксцентриковый кулачок 7 установлен на конических радиально-упорных подшипниках 5 и 9. Утечки рабочей жидкости между поршнями и плоскими гранями направляющей минимальны за счет гидростатического прижима поршней своими доньшками к компрессионным кольцам 3. При подводе рабочей жидкости к одному из коллекторов гидромотора ее дальнейший путь лежит через радиальные и осевые отверстия в валу к отверстиям в гранях и через отверстия в доньшках поршней и осевых расточках последних в ци-

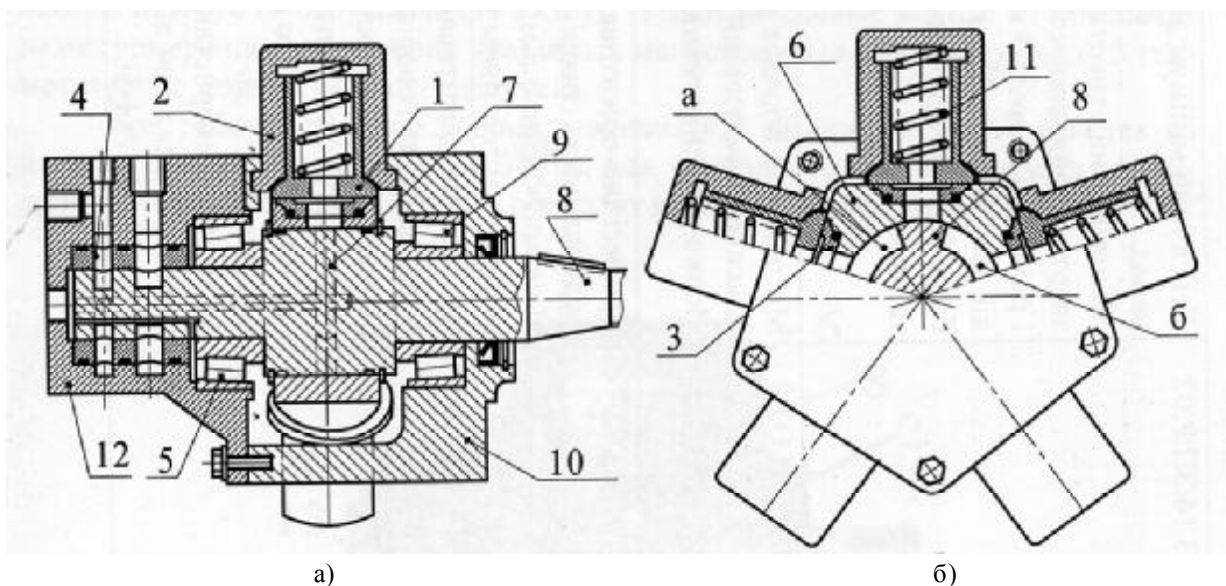


Рисунок 8 — Продольный (а) и поперечный (б) разрезы гидромотора MH-373-JC-G4 фирмы "Sundstrand"

линдры. Рабочая жидкость создает непосредственно своим давлением усилие на плечо рычага эксцентрикового вала и проворачивает последний. В данной конструкции поршень является втулкой, уплотняющей камеру цилиндра. Пятиугольник не вращается, а только перемещается по эксцентриковому кулачку 7, в свою очередь, вращение последнего приводит к поочередному подводу рабочей жидкости к цилиндрам гидромотора. Кинематика гидромоторов, основывающаяся на отсутствии жесткой механической связи между поршнями и компрессионными кольцами эксцентрикового вала (пружины обеспечивают только стартовое замыкание этих деталей) предъявляет специфические требования к их эксплуатации, в частности, поддержанию в линиях нагнетания и слива давления не менее $0,7 \text{ МПа}$. Особое внимание следует обратить на работу ОГП при торможении гидромотора в момент перехода его в насосный режим во избежание возникновения кавитации и отрыва поршней от компрессионных колец эксцентрикового вала и последующего резкого увеличения утечек в дренаж и ударов компрессионных колец по днищам поршней, вызывая поломки гидромоторов.

Фирма *Rotary Power* рекламирует гидромоторы серии МН, которые по своей конструкции и характеристикам аналогичны гидромоторам фирмы *Sundstrand*, и серию гидромоторов *SMA* с рабочими объемами от 200 до 16000 см^3 на давление до 49 МПа [10]. Конструктивное отличие гидромоторов этой серии состоит в том, что цилиндры размещены на эксцентриковом валу, а поршни опираются на плоские грани, размещенные на внутренней поверхности корпуса. Сохранив цапфенный распределительный узел, размещенный в эксцентриковом кулачке, фирма разработала конструкцию гидромотора с регулируемым рабочим объемом и свободным вращением блока цилиндров, используемую в мотор-колесах транспортных средств (режим *Freewheel*). Охлаждение узлов трения поршневых групп, блока цилиндров и под-

шипников качения обеспечивается прокачкой рабочей жидкости через корпус гидромотора в $5\text{--}38 \text{ л/мин}$ в зависимости от рабочего объема.

Радиальнопоршневой гидромотор серии *SMA* (рисунок 9, а) состоит из вала 1, установленного в радиально-упорных роликовых подшипниках 2 передней крышки 8 и корпуса 3, блока цилиндров 4, установленного на эксцентриковом кулачке вала 1, и поршней 5, опирающихся своими донышками на вставные плоские опоры 7 корпуса 3. Между поршнями и цилиндрами установлены уплотнения 6. Для повышения устойчивости поршней, скользящих по опорным поверхностям 7 корпуса 3, на внутренней поверхности крышки 8 установлена специальная муфта 9. Уплотнение 10 вала 1 размещено в передней крышке 8. В корпусе распределительного узла 11 размещена вращающаяся цапфа 12, посредством каналов в которой обеспечивается сообщение распределительных дугообразных окон в эксцентриковом кулачке с магистралями высокого (от насоса) и низкого (в бак) давления в объемных гидроприводах. Уплотнительные кольца 12 обеспечивают герметичное разделение указанных магистралей, а задняя крышка 13 герметизирует корпус 11 распределителя.

При рабочем режиме усилия давления рабочей жидкости на поршни 3 замыкаются на плоских опорах 2 корпуса 1 (рисунок 9, б), для свободного вращения блока цилиндров в пространство 4 корпуса 1 подводят избыточное давление (рисунок 9, в).

В таблице 1 приведены технические характеристики РПГОД ведущих мировых фирм и отечественных разработчиков (с целью повышения информативности и в то же время сокращения объема материала приведены только минимальные и максимальные значения рабочих объемов гидромоторов). Для гидромоторов однократного действия наибольший рабочий объем достигнут в гидромоторах фирмы *Lowen Hydraulic* (WL 350 SV — 101778 см^3), наибольшее давление имеют гидромоторы фирмы *Sai* (до 80 МПа в серии SH5E).

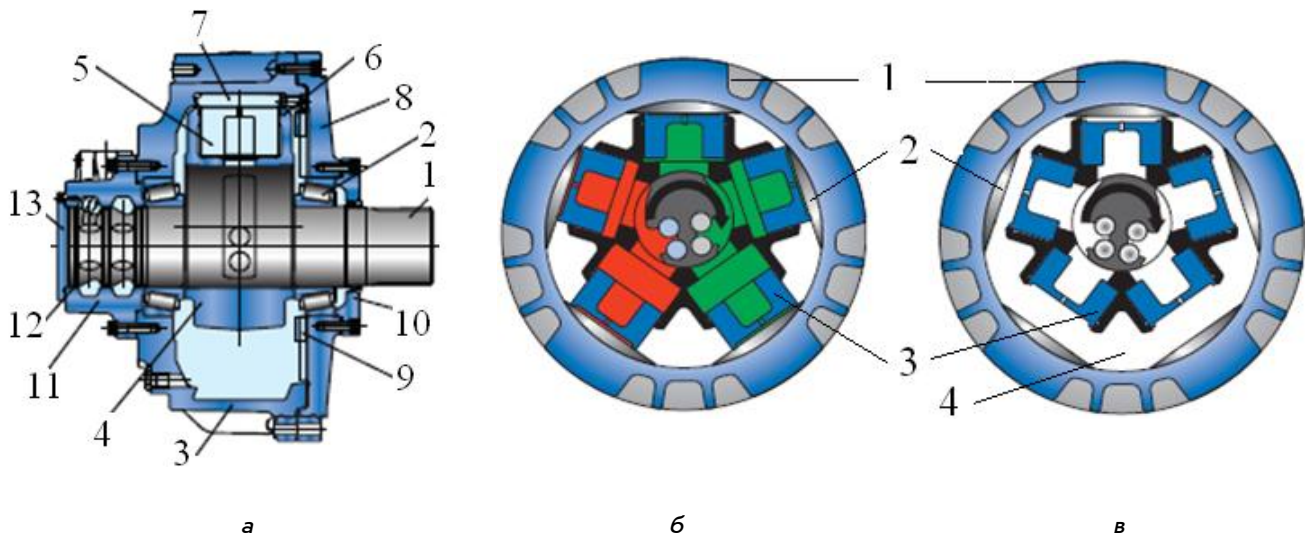


Рисунок 9 — Радиальнопоршневої гидромотор однократного действия серии SMA фирмы "Rotary power"

Таблица 1 — Технические характеристики радиальнопоршневых гидромоторов однократного действия

Серия	V_p , см ³	M, Н.м/ Δp , МПа	n , мин ⁻¹	КПД	P , кВт	Масса, кг
1. MR 33	32	214/ 42	1400	0,83	10	30
2. MRTE 23000	23034	13188/ 36	75	0,91	460	3100
3. L9 50	50	334/ 42	1000	0,94	19	25
4. SH5E 1000	1039	13216/ 80	700	0,97	225	130
5. L9 12000	12026	80310/ 42	110	0,95	375	700
6. HMB 010	188	717/ 24	500	-	25	40
7. HMB 700	11600	46110/ 25	100	-	200	1050
8. SMA 200	207,8	1619 / 49	1000	-	54	83
9. SMA 13000	16400	127772 / 49	125	-	900	2443
10. МРФ...М1	160	/ 32	600	0,90		58
11. МРФ...М1	1600	/ 32	220	0,87		220
12. WL 10 SK	2,9	/ 40	3500	-	4	-
13. WL 350 SV	101778	/ 25	36	-	1000	-

Примечания: 1: 1 и 2 — Riva Calzoni; 3–5 — Sai; 6 и 7 — Kawasaki Motors Corp.; 8 и 9 — Rotary Power; 10 и 11 — Людиновский агрегатный завод — ВНИИГидропривод; 12 и 13 — Lowen Hydraulic; 2 — под чертой приведено максимальное (пиковое) значение перепада давлений.

Выводы

1. Современные радиальнопоршневые гидромоторы однократного действия различаются конструкцией поршневых групп, включая шатунно-поршневые и бесшатунные. Широкое распространение получают торцовые распределительные узлы взамен менее герметичных цапфенных.

2. В настоящее время в радиальнопоршневых гидромоторах однократного действия достигнуты максимальные давления до 45 МПа и даже рекордное значение для объемных гидроприводов в 80 МПа. Рабочий объем гидромоторов находится в диапазоне от 32 см³ до 100 дм³.

Литература

1. Дьячков, Б.И. Высокомомментные гидромоторы однократного действия / Б.И. Дьячков. — М.: Машиностроение, 1979. — 120 с.

2. Hydraulic Products Kawasaki: каталог. — 2006. — 146 p.

3. О модернизации высокомоментных гидромоторов однократного действия типа МРФ / Г. А. Аврунин, В.В. Гордеев, Ю.М. Юров и др. // Вестник машиностроения. — 1989. — № 12. — С. 25—28.

4. Атлас конструкций гидромашин и гидропередат: учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / Б.М. Бим-Бад, М.Г. Кабаков, В.Н. Прокофьев и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 136 с.

5. Radial Piston Motor. Type MR, MRE. Denison Calzoni. RCOa 1806/03.03. Bologna, Italy. — 36 p.

6. Radial Piston Motor. Type MRD, MRDE, MRV, MRVE. Denison Calzoni. RCOa 2401/03.03. — Bologna, Italy. — 48 p.

7. Radial Piston Motor. Type MRT, MRTE, MRTEF. Denison Calzoni. RCOa 2301/03.03. — Bologna, Italy. — 24 p.

8. Crankshaft Design Radial Piston Hydraulic Motors. M series motors, L series motors, Distributors, SAI : каталог: Edition 4A. — 968801.4A. — 2202. — 59 p.

9. Crankshaft Design Radial Piston Hydraulic Motors. S-series, SH-series. — Sai : каталог: — 2202. — 36 p.

10. ROTARY POWER. SMA. RANGE. Radial piston motors : [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.rotarypower.com>. — 2012. — 19 p.

References

1. Dyachkov, B.I. Vysokomomentnye gidromotory odnokratnogo deystviya / B.I. Dyachkov — M.: Mashinostroenie, 1979. — 120 p.

2. Hydraulic Products Kawasaki: katalog. — 2006. — 146 p.

3. O modernizatsii vysokomomentnykh gidromotorov odnokratnogo deystviya tipa MRF / G.A. Avrunin, V.V. Gordееv, Yu.M. Yurov i dr. // Vestnik mashinostroeniya. — 1989. — № 12. — P. 25—28.

4. Atlas konstruktсий gidromashin i gidriperedach: uchebnoe posobie dlya studentov mashinostroitelnykh spetsialnostey vuzov / B.M. Bim-Bad, M.G. Kabakov, V.N. Prokofiev i dr. — M. : Mashinostroenie, 1990. — 136 p.

5. Radial Piston Motor. Type MR, MRE. Denison Calzoni. RCOa 1806/03.03. Bologna, Italy. — 36 p.

6. Radial Piston Motor. Type MRD, MRDE, MRV, MRVE. Denison Calzoni. RCOa 2401/03.03. — Bologna, Italy. — 48 p.

7. Radial Piston Motor. Type MRT, MRTE, MRTEF. Denison Calzoni. RCOa 2301/03.03. — Bologna, Italy. — 24 p.

8. Crankshaft Design Radial Piston Hydraulic Motors. M series motors, L series motors, Distributors, SAI : каталог: Edition 4/A/ — 968801.4A. — 2202. — 59 p.

9. Crankshaft Design Radial Piston Hydraulic Motors. S-series, SH-series. — SAI: katalog. — 2202. — 36 p.

10. Rotary Power. SMA. Range. Radial piston motors: <http://www.rotarypower.com>. — 2012. — 19 p.

Надійшла 3.02.2014 року

УДК 621.22

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РАДІАЛЬНОПОРШНЕВИХ ГІДРОМОТОРІВ ОДНОРАЗОВОЇ ДІЇ

Г.А. Аврунін, І.І. Мороз

Надано аналіз конструкцій радіальнопоршневих гідромоторів одноразової (ексцентрикової) за принципом роботи дії класу HTLS — високомоментних тихохідних гідромоторів, які знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, зокрема, у мобільних і стаціонарних машинах як привод ходу, вантажопідйомних механізмів, землерийних машинах, машинах для литва під тиском та ін., у низці випадків надаючи конкуренцію аксіальнопоршневим гідромоторам з планетарними редукторами. Сучасні гідромотори мають поршневі групи з низьким рівнем тертя, забезпечують безступінчасте регулювання робочого об'єму, оснащуються гальмами, датчиками частоти обертання та іншими компонентами, що забезпечують конструктору зручність при проектуванні гідроприводів і зниження їх габаритно-масових показників. Провідними виробниками гідромоторів однократної дії є фірми *Riva Calzoni* and *Sai* (Італія), *Kawasaki Motors Corp.* (США), *Rotary Power* (Англія), а в країнах СНД — Людіновський агрегатний завод (Росія) і “Стройгідравліка” (Україна).

Ключові слова: гідромотор, крутний момент, частота обертання, поршнева група, тиск, розподільник, об'ємний гідропривод.

UDC 621.22

**ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS
OF THE RADIAL PISTON HYDRAULICS
MOTORS OF SINGLE-ACTING**

G.A. Avrunin, I.I. Moroz

In the article the analysis of constructions of radial piston hydraulics motors of single (eccentric type) principle is given actions of the class of HTLS — high torque slow speed hydraulics motors) which find a wide in by of mobile and stationary machines as a drive of motion, crane mechanisms, earthmovers, machines for casting under constraint and other, in a number of cases rendering a competition axial piston motors with planetary reducing gear.

Piston groups have modern hydromotors with the low level of friction, provide variable of the displacement, equipped brakes, sensors of frequency of rotation and other komponents, providing a designer a comfort at planning of transmissions and decline of overallmass indexes. The leading producers of hydraulics motors of the single action are firms *Riva Calzoni* and *Sai* (Italy), *Kawasaki Motors Corp.* (USA), *Rotary Power* (England), and in the countries of the CIS of Lyudinovskiy aggregate (Russia) and “*Stroy-gidravlika*” (Ukraine) plants.

The resulted informative materials will be useful to the specialists in area of creation of the new hydroficated machines with enhanceable requirements to the data-outs of hydraulics motors on power, torque and frequency of rotation, and also in educational aims.

Key words: hydraulic motor, torque, frequency of rotation, piston group, pressure, valve, hydraulic fluid power.