

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РАДИАЛЬНОПОРШНЕВЫХ ГИДРОМОТОРОВ МНОГОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ

### ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF RADIAL PISTON HYDRAULICS MOTORS OF MULTIPLE ACTION

*Проведен анализ конструкций радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия, которые находят широкое применение в разных отраслях промышленности, в частности, преимущественно в объемных гидроприводах мобильных машин как привод хода, грузоподъемных механизмах, землеройных машинах и др., в ряде случаев конкурируя с аксиальнопоршневыми гидромоторами с планетарными редукторами. Современные гидромоторы имеют миниатюрные высоконагруженные поршневые группы, обеспечивают ступенчатое регулирование рабочего объема, оснащены тормозами, устройствами свободного хода, датчиками частоты вращения и другими компонентами. Ведущими производителями гидромоторов многократного действия являются фирмы Haggblunds Drives A (Швеция), Poclain Hydraulics (Франция), Rexroth Bosch Group (ФРГ), SISU (Финляндия) и Rotary Power (Англия), Людиновский агрегатный завод (Россия) и Горловский машиностроительный завод (Украина). Информация может быть полезной при разработке новых гидрофицированных машин с повышенными требованиями к исходным параметрам гидромоторов по крутящему моменту и минимальной частоте вращения, а также в учебном процессе.*

*Ключевые слова: гидромотор, многократное действие, поршневая группа, крутящий момент, давление, частота вращения, объемный гидропривод.*

#### Ведение

Радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия (РПГМД), согласно применяемой ведущими мировыми фирмами терминологии эти гидромоторы относятся к классу HTLS — высокомоментным тихоходным гидромоторам, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности, преимущественно в объемных гидроприводах мобильных машин в качестве привода колесного и гусеничного хода, грузоподъемных механизмах, землеройных машинах и др., в ряде случаев оказывая конкуренцию аксиально-поршневым гидромоторам с планетарными редукторами. Современные гидромоторы обеспечивают ступенчатое регулирование рабочего объема, оснащены тормозами, устройствами свободного хода, датчиками частоты вращения и другими компонентами, обеспечивающими конструктору удобство при проектировании гидроприводов и снижение габаритно-массовых показателей. Ведущими производителями гидромоторов многократного действия являются фирмы Haggblunds Drives A (Швеция), Poclain Hydraulics (Франция), Rexroth Bosch Group (ФРГ), SISU (Финляндия) и Rotary Power (Англия), Людиновский агрегатный (Россия) и Горловский машиностроительный заводы (Украина)

Основными узлами гидромоторов являются поршневые группы и распределительный узел. Поршневая группа гидромотора многократного действия предназначена для преобразования гидравлической энергии потока рабочей жидкости в механическую работу поступательно перемещающегося поршня и силового взаимодействия с профильным кулачком (копиром).

В Украине радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия выпускаются 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, стимулируя развитие отечественной конкурентоспособной промышленности.

#### Основная часть

Эволюция конструкций поршневых групп широко коснулась радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия. С целью снижения действия боковой силы на поршень разрабатывались конструк-

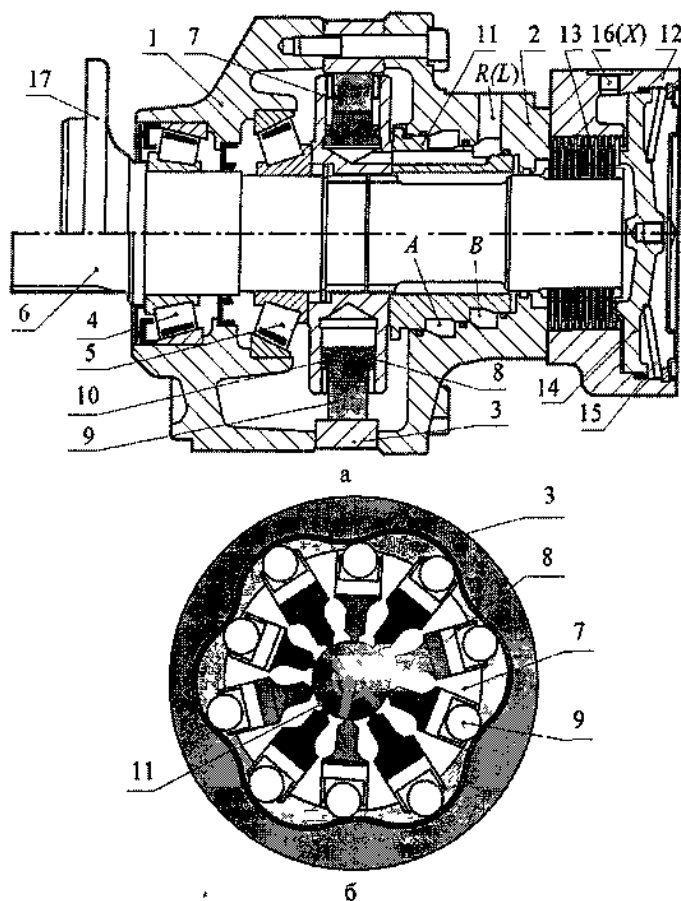


Рисунок 1 — Радиальнопоршневой гидромотор многократного действия фирмы Poclain hydraulics: продольный (а) и поперечный (б) разрезы

тивные схемы, в которых передача осевого усилия, создаваемого давлением рабочей жидкости на поршень, осуществлялась через промежуточные узлы трения качения или скольжения, передающие усилие на профильный кулачок-копир с помощью подшипников качения. Такие конструкции обеспечивали высокую износостойкость поршневых пар и долговечность гидромоторов. Для снижения радиальных и осевых габаритов гидромоторов стали появляться миниатюрные конструкции поршневых групп, в которых формирование крутящего момента создавалось при наличии боковых нагрузок на поршни. В настоящее время наиболее совершенные конструкции гидромоторов имеют поршневые группы типа “поршень-ролик”, в которых ролик совершает вращательное движение относительно расточки в поршне и по профилю. Дальнейшее развитие получили конструкции, в которых функции поршня и опоры на копир совмещены в одной детали — шарике или ролике. Повышение износостойкости поршневой группы при трении поршня о боковую стенку цилиндра и ролика по поверхности поршня и копира достигнуто за счет применения новых материалов, покрытий и использова-

ния гидростатической разгрузки в паре “поршень-ролик”.

На рисунке 1 представлен радиальнопоршневой гидромотор серии MS фирмы Poclain hydraulics [1], который состоит из передней 1 и задней 2 крышек, между которыми зажат профильный кулачок (копир) 3. В подшипниках 4 и 5 передней крышки 1 установлен вал 6, на шлицах которого закреплен блок цилиндров 7, в радиальных расточках которого размещены поршни 8 с роликами 9, опирающимися на кулачок 3. Для обеспечения герметичности на поршнях установлены уплотнительные кольца 10. Торцовый диск 11 совместно с ответной поверхностью блока цилиндров 7 образуют распределительный узел гидромотора. Для сообщения насоса объемного гидропривода с кольцевыми коллекторами A или B подвода рабочей жидкости к цилиндрам гидромотора в задней крышке 2 выполнены соответствующие отверстия R и L. К задней крышке 2 прикреплен дисковый тормоз 12 нормально-замкнутого типа с пакетом тормозных дисков 13, поршнем 14 зажима дисков с помощью тарельчатой пружины 15 и отверстием 16 для подвода давления растормаживания. На вал 6 наса-

Таблица 1 — Сравнение технических характеристик гидромоторов фирмы *Poclain hydraulics* разных поколений

Параметры, размерность	2000, 1970 г.	H20, 1983 г.	MS 18, 2011 г.	MS 25, 2011 г.	MS 25, 2011 г.
Рабочий объем, $см^3$	2000	1979	2099/2	2004/8	3006/2
Максим. мощность, $кВт$	42	75	70	90	90
Максим. давление, $МПа$	45	45	45	45	45
Макс. частота вращения, $мин^{-1}$	44	120	150	145	115
Масса, $кг$	270	175	120	195	195
Диаметр, $мм$	560	440	334	390	390
Длина, $мм$	375	422	395	455	455
Макс. крут. теор. момент, $Нм$	14310	14160	15018	14339	21508

жена ступица 17, к которой крепится диск колеса транспортного средства. При работе гидромотора рабочая жидкость от насоса подводится к одному из коллекторов, например, распределительного диска 11 и далее через каналы в блоке цилиндров 7 к поршням 8. Усилие от давления рабочей жидкости на поршень 8 передается через ролик 9 на профильный кулачок 3. Тангенциальная составляющая этого усилия приводит блок цилиндров 7 и связанные с ним выходной вал 6 и ступицу 17 во вращение. Слив рабочей жидкости из гидромотора происходит через коллектор распределительного диска 11 в линию подпитки насоса объемного гидропривода.

Рабочий объем гидромотора определяют по формуле

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

где  $S_n = \pi d^2/4$  — площадь одного поршня диаметром  $d, мм$ ,  $h$  — ход поршня,  $мм$ ,  $z$  и  $y$  — количество поршней и их рядов, соответственно,  $шт.$ ,  $x$  — количество рабочих ходов каждого поршня за один оборот выходного вала.

Аналогичную кинематическую схему “поршень-ролик” имеют гидромоторы серии MCR фирмы *Rexroth Bosch Group*, гидромоторы серии *Maraton* фирмы *Hagglunds Drives AB*, *SISU* и серии XF05 фирмы *Rotary Power*.

Выпуск первых гидромоторов начат фирмой *Poclain hydraulics* в 1958 году. Радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия имели поршневую группу с разгрузкой поршней посредством прямоугольных траверс и цапфенный распределительный узел. Фирма постоянно совершенствует свои изделия. В таблице 1 приведены технические характеристики гидромоторов за период с 1970 года по настоящее время, из которой следует, что высокий уровень давления в  $45 МПа$  (рекордный и в настоящее время) является неизменным для гидромоторов нескольких поколений. Совершенствование конструкций гидромоторов серии *H* путем замены цапфенно-

го распределительного узла на торцовый и применение поршневой группы типа “поршень-ролик” с опорой последнего на профильную направляющую (кулачок-копир) вместо традиционных траверс прямоугольного сечения, разгружающих поршни от боковых усилий, позволили создать несколько серий гидромоторов для широкой области применения.

Наибольшей по номенклатуре гидромоторов является серия MS(E) с 64 рабочими объемами от 172 до  $15000 \text{ см}^3$ , мощностью от 18 до  $240 \text{ кВт}$ , максимальным давлением  $40-45 МПа$  и массой  $19-470 \text{ кг}$ . Максимальный крутящий момент гидромоторов достигает  $1,2-77 \text{ кНм}$ . Гидромоторы этой серии включают конструктивные исполнения с выходным валом (*Shaft motor*) и мотор-колесо (*Wheel motor*). Мотор-колесо снабжено ступицей для крепления колеса транспортной машины и тормозом. Гидромоторы выпускаются с постоянным и двумя ступенями регулирования рабочего объема. Соотношение рабочих объемов (минимального значения к максимальному) может быть больше или меньше 0,5. Гидромоторы MS02–MS25 однорядные, MS35–MS83 двухрядные, а MS 125 трехрядные по количеству рядов поршневых групп.

Типоразмерный ряд гидромоторов серии MS состоит из 16 базовых групп, в каждой из которых имеется несколько значений рабочих объемов с коэффициентом ряда  $1,1-1,25$ . Общими значениями параметров в каждой из базовых групп являются масса и максимальная мощность гидромоторов. С увеличением рабочего объема гидромотора допускаемая максимальная частота вращения снижается.

Кинематические схемы радиальнопоршневых гидромоторов существенно влияют на нагруженность коренных подшипников вала. В гидромоторах однократного действия долговечность коренных подшипников качения является, как правило, “узким” местом конструкции, так как на подшипники действуют значительные радиальные нагрузки. В гидромоторах многократного действия силы, действующие на коренные подшипники вала, могут быть сведены до

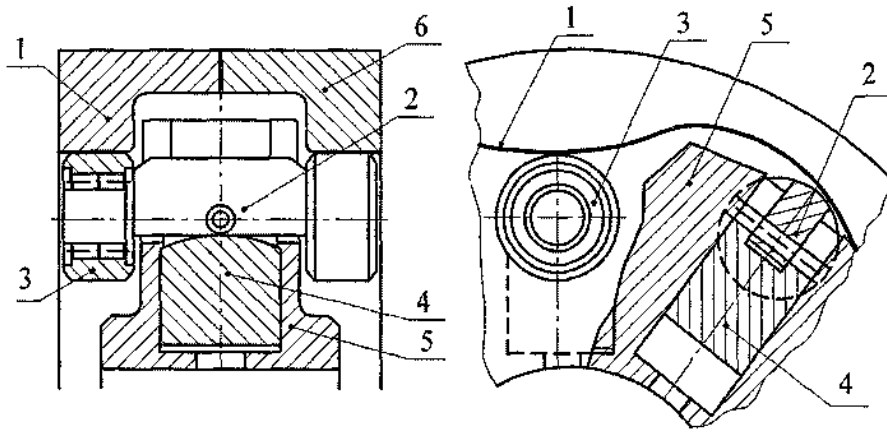


Рисунок 2 – Неизгруженная поршневая группа гидромотора с передачей бокового усилия со стороны катков 3 на поршень 4 и блок цилиндров 5 через траверсу 2, размещенную в поршне

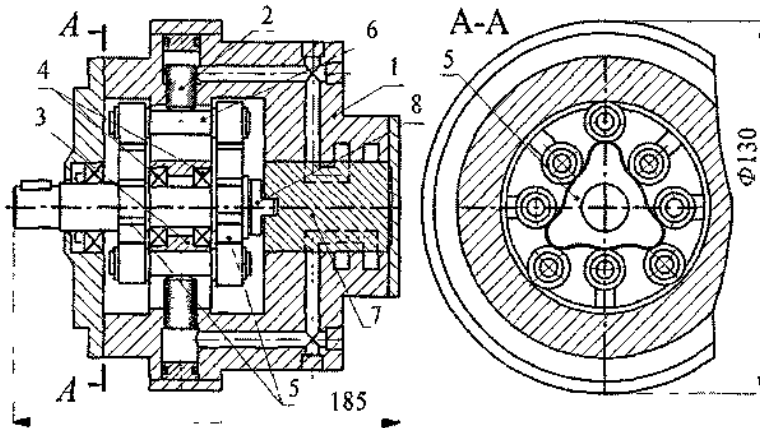


Рисунок 3 – Миниатюрный радиально-поршневой гидромотор многократного действия типа МРФ-16/100 конструкции ВНИИГидропривода с разгрузкой поршней 2 с помощью траверс 6 в пазах статора 3 блока цилиндров 1

минимума при кинематической уравновешенности поршневых групп благодаря оптимальному выбору чисел поршней и рабочих профилей копира [2;3].

Рассмотрим эволюцию конструкций поршневых групп радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия, начиная с гидромоторов, созданных в 1960-х годах [3].

В конструкции согласно рисунку 2 траверса 2 прямоугольной формы с подшипниками качения 3 (катками) установлена в поршень 4 блока цилиндров 5. Направляющая (копир) состоит из двух колец 1 и 6. При обкатывании катков 3 по направляющей усилие их взаимодействия направлено под углом к оси перемещения поршня, поэтому на катки, траверсу и поршень действует тангенциальная составляющая радиального усилия от давления рабочей жидкости на поршень. Это усилие передается блоку цилиндров 5 через боковую поверхность поршня 4. Такая поршневая группа являлась конструктивно наиболее простой, однако для снижения высоких удельных давлений в паре поршень–блок цилиндров необходимо было увеличивать длину поршня. Ограниченность в используемых материалах и качестве обработки поверхностей контртел (поршня и отверстия блока цилиндров) при-

водили к большим потерям на трение, износу и сдерживали рост давлений в гидромоторах.

Для разгрузки поршня от боковых нагрузок в блоке цилиндров выполнялись радиальные пазы, по которым траверса перемещалась под действием осевого усилия со стороны поршня (рисунок 3). В такой конструкции допускаются более высокие удельные давления между траверсой и блоком цилиндров, чем между поршнем и цилиндром. Конструктивная схема с разгрузкой поршня посредством траверсы, воспринимающей боковые усилия, получила широкое развитие в гидромоторах многократного действия в 1970-х годах. Давление рабочей жидкости в гидромоторах с разгрузкой поршней с помощью опор скольжения “прямоугольная траверса-паз блока цилиндров” находилось в пределах 10–16 МПа и даже 45 МПа. Особенностью конструкции гидромотора типа МРФ-16 разработки ВНИИГидропривода является кинематическая схема гидромотора с неподвижным блоком цилиндров 1, размещенными в нем поршнями 2 и корпусом 3 для размещения прямоугольных траверс 6, и ротором-копиром 5 на подшипниках качения 4, к достоинствам которой следует отнести малый момент инерции вращающихся масс и умень-

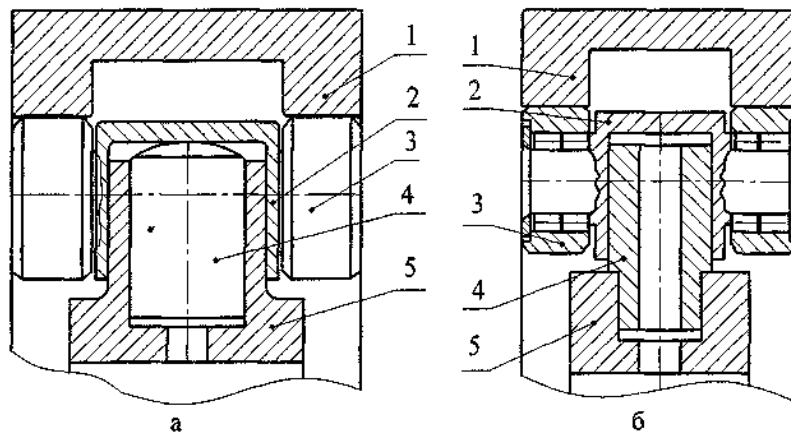


Рисунок 4 — Поршневая группа гидромотора с разгрузкой поршня 4 с помощью траверсы 2, образующей пару скольжения с блоком цилиндров 5 своей внутренней поверхностью (а) и поршневая группа с неподвижным и неразгруженным поршнем 4, запрессованным в блок цилиндров 5, по которому перемещается траверса 2 с опорными катками 3 (б)

шенные радиальные габариты мотора. Независимая компоновка распределителя 7 обеспечивает его самоустановку относительно блока цилиндров с помощью муфты 8. На работу распределителя не оказывает влияния неуравновешенная сила со стороны поршневых групп. Важным преимуществом является также то, что траверсы 6, которые служат для разгрузки поршней 2 от боковых усилий, не выходят из своих пазов в нижних мертвых точках, обеспечивая приемлемый уровень удельных давлений. Гидромоторы, создаваемые по приведенной кинематической схеме, предназначались для применения в электрогидравлических следящих приводах металлорежущих станков и обеспечивали устойчивые минимальные частоты вращения  $0,2-2 \text{ мин}^{-1}$ , высокую равномерность работы на низких частотах вращения, и в то же время обеспечивали достаточно высокие частоты вращения. При этом следует отметить, что достижение высоких частот вращения в гидромоторах многократного действия возможно только при ограничении количества рабочих ходов из-за повышенных инерционных нагрузок на поршневые группы, способствующих отрыву их от копира. Таким образом, возникла необходимость в создании гидромоторов с широким диапазоном регулирования частоты вращения. На базе такой конструктивной схемы во ВНИИГидроприводе была создана серия гидромоторов типа МРФ на максимальное давление до  $16 \text{ МПа}$ , в которой 4 гидромотора с регулируемым рабочим объемом (16; 32; 80 и  $125 \text{ см}^3$ ) и 2 с регулируемым ступенчато-изменяемым рабочим объемом (80/16 и  $125/16 \text{ см}^3$ ) за счет использования двух поршней разного диаметра. Гидромотор типа ДПС10(И) с разгрузкой поршня с помощью траверс выпускается более 40 лет Горловским машиностроительным заводом, в последнем десятилетии освоен производством Людиновским агрегатным заводом. Рабочий объем гидромотора  $3600 \text{ см}^3$ , максимальное давление  $14 \text{ МПа}$ , номинальный крутящий момент  $5,2 \text{ кНм}$ , частота вращения до  $30 \text{ мин}^{-1}$ , масса  $162 \text{ кг}$ .

В конструкции с разгруженным поршнем 4 (рисунок 4, а) тангенциальное усилие передается блоку цилиндров 5 не через паз, а по наружной поверхности блока цилиндров. В этом случае траверса 2 выполнена с внутренней полостью круглого или прямоугольного сечения, сопрягающейся с соответствующей наружной поверхностью блока цилиндров. Траверса такой конструкции позволяет снизить удельные давления в месте передачи тангенциального усилия и, кроме того, катки 3, опирающиеся на копиру 1, можно расположить на меньшем диаметре, что снижает габариты гидромотора.

В поршневой группе, согласно рисунку 4, б, полый поршень 4 запрессован в блок цилиндров 5, траверса 2 несет катки 3, обкатывающиеся по копиру 1. В траверсе 2 имеется расточка, в которую входит неподвижный поршень 4. При действии давления через отверстие в поршне 4 на расточку траверсы 2 последняя перемещается и ее катки обкатываются по копиру. Таким образом, в рассматриваемой конструкции поршень неподвижен, а цилиндр перемещается. Конструкция характеризуется значительно более высокой прочностью пары «траверса–цилиндр», чем ранее рассмотренные, а катки располагаются на минимально возможном диаметре, что позволяет уменьшить габариты гидромотора.

В конструкции поршневой группы, показанной на рисунке 5, траверса 2 кроме катков 3, обкатывающихся по копиру 1, несет дополнительные катки 7, которые перемещаются в радиальных пазах дисков 8, скрепленных с блоком цилиндров 5. Поэтому тангенциальное усилие передается через пару трения качения с минимальными потерями и, следовательно, при высоком КПД. При этом поршень 4 передает усилие траверсе 2 через самоустанавливающийся шток 9 и разгружен от передачи бокового усилия. Механический КПД гидромотора достигает 98–99%.

Такую конструктивную схему имеют гидромоторы шведской фирмы *Hagglunds* (серия *Viking*

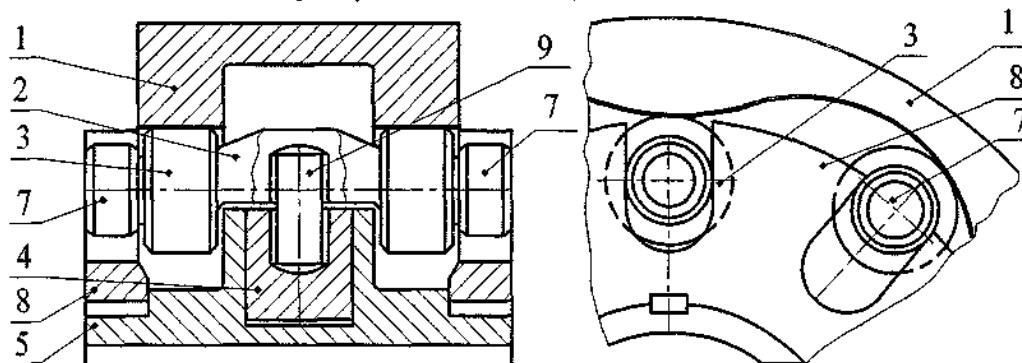


Рисунок 5 — Радиальнопоршневой гидромотор с разгрузкой поршней с помощью пар качения (катков 7 траверсы 2, опирающихся на радиальные пазы дисков 8 блока цилиндров 5)

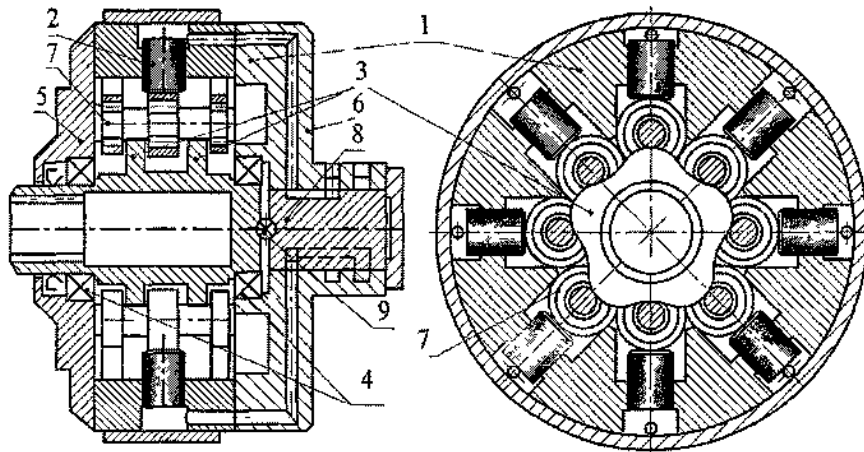


Рисунок 6 — Радиальнопоршневой гидромотор конструкции ВНИИГидропривода с цилиндрическими траверсами 7, обеспечивающими разгрузку поршней 2 с помощью пар качения

Motors) и МР16К Института горного дела им. А.А. Скочинского [3]. Следует отметить, что серия *Viking Motors* производится с 1950-х годов по настоящее время. Первоначально серия имела 11 рабочих объемов от 1,06 до 38,1 дм<sup>3</sup> на максимальное давление 2–25 МПа, в настоящее время включает 18 рабочих объемов от 3,32 до 38,1 дм<sup>3</sup> на максимальное давление 25–32 МПа. При этом существенное повышение частоты вращения гидромоторов, например, для гидромотора с рабочим объемом 9,24 дм<sup>3</sup> максимальная частота вращения повышена с 65 до 145 мин<sup>-1</sup> (серии 4070 и 44-09200 производства 1970 и 2006 годов, соответственно).

Созданный по оригинальной схеме с парами качения радиальнопоршневой гидромотор многократного действия с внутренним кулачком (ротором-копиром) разработки ВНИИГидропривода (рисунок 6) содержит блок цилиндров 1, в расточках которого размещены поршни 2, выходной вал с двумя кулачками 3, установленный в подшипниках 4 передней 5 и задней 6 крышек, траверсы 7 цилиндрической формы, и распределительный узел 8, привод вращения которого обеспечивается муфтой 9. Каждая траверса 7 имеет три ряда подшипников качения, в том числе центральный ряд, на который опирается поршень, и пери-

ферийные, воспринимающие боковую нагрузку со стороны поршней. Траверса 7 контактирует с внутренними кулачками 3 своими цилиндрическими поверхностями. Такая конструкция обеспечивает минимальный уровень трения в поршневой паре и позволяет снизить радиальный габарит гидромотора с внутренним кулачком. При создании гидромоторов с рабочим объемом до 64 дм<sup>3</sup> для приводов вращения тяжелой землеройной техники (буровые установки и драги для добычи золота), в том числе при использовании в качестве рабочей жидкости горячей воды, компоновка гидромотора с ротором-копиром отличается высокой технологичностью и ремонтнопригодностью.

В поршневой группе, показанной на рисунке 7, поршень 4 через шток 6 передает усилие траверсе 2, на которой, кроме катков 3, закреплены рычаги 7, связанные с блоком цилиндров 5 при помощи цапфы 8. Основное тангенциальное усилие передается от траверсы 2 к блоку цилиндров 5 через рычаги 7. Поршень 4 нагружается боковым усилием только в связи с отклонением оси штока 6 от оси поршня в процессе качательного движения траверсы 2 относительно цапфы 8. При этом максимальное боковое усилие, передаваемое поршнем, составляет около 14% тан-

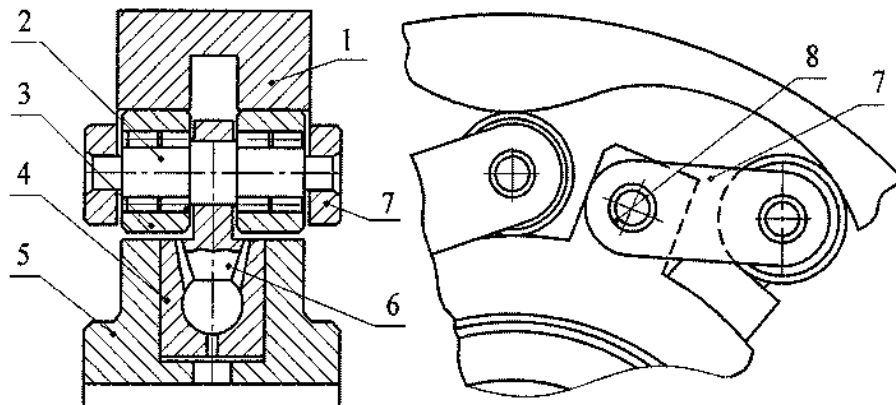


Рисунок 7 — Поршневая группа гидромотора с разгрузкой поршня с помощью рычагов 7 на цапфах 8

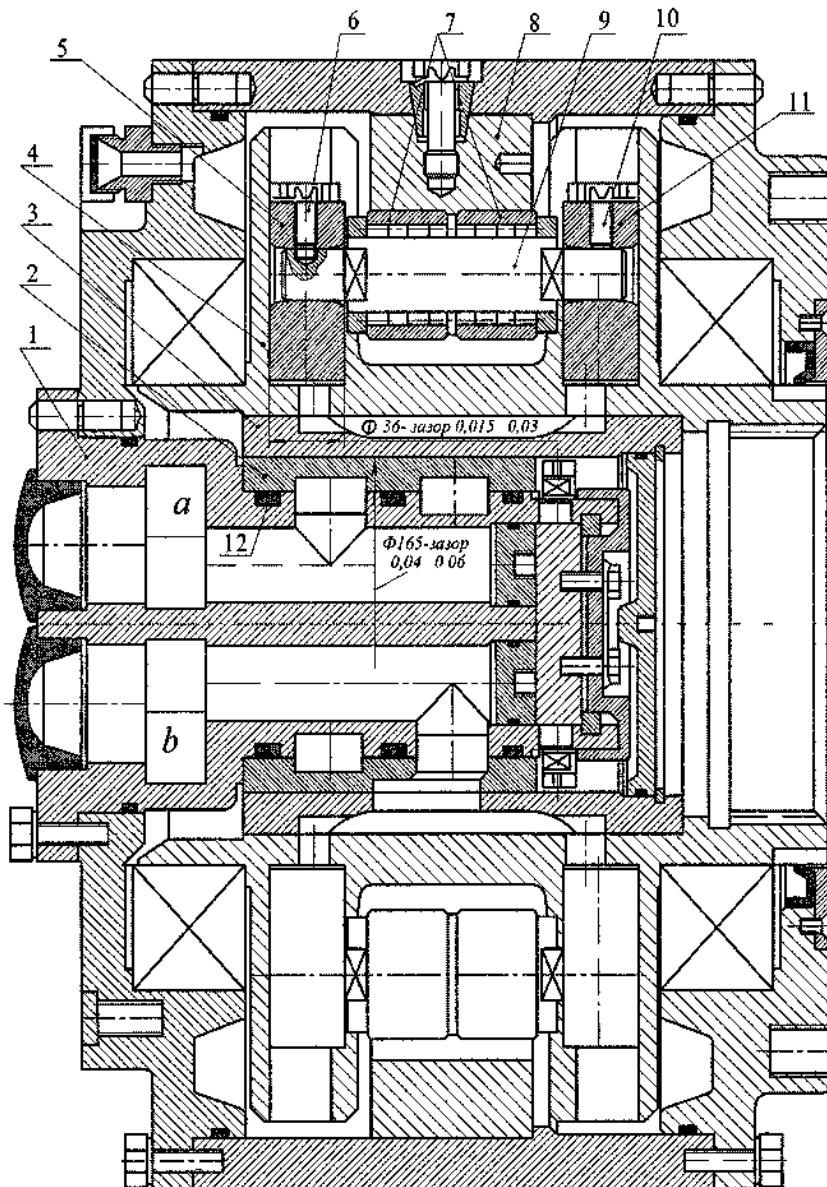


Рисунок 8 — Радиальнопоршневой гидромотор многократного действия МР2,5 конструкции Института горного дела имени А.А. Скочинского с незгруженными поршневыми группами



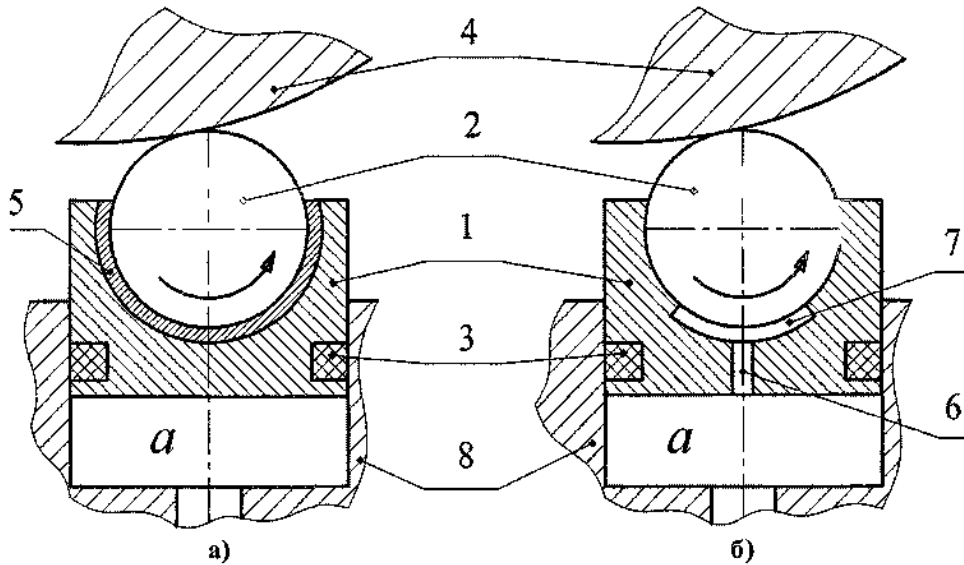


Рисунок 9 — Неразгруженые поршневые группы современных радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия с опорой ролика 2 на поршень 1 посредством антифрикционного материала 5 (а) и гидростатической разгрузки (б) с помощью камеры 4 и канала 3 подвода рабочей жидкости

генциального усилия, возникающего на катке при его контакте с копиром 1. Поршневая группа отличается низким уровнем потерь, но имеет сложную конструкцию.

К одной из наиболее совершенных конструкций траверсных поршневых групп следует отнести разработку в Институте горного дела им. А.А. Скочинского бесшатунной поршневой группы (рисунок 8), состоящей из двух поршней 5 и 11, в поперечные отверстия которых вставлены круглые концы траверсы 9, скрепленные с поршнями винтами 6 и 10. Поршни установлены в радиальных расточках блока цилиндров 4. В середине траверсы на ее цилиндрической части установлены ролики, на которые надеты обоймы 7, контактирующие с копиром 8 гидромотора. Распределительный узел цапфенного типа включает запрессованную в блок цилиндров 4 втулку 3 и распределительную втулку 2, смонтированную на корпусе распределителя 1 посредством уплотнительных колец 12. Диаметр поршней 36 мм, диаметр распределительной цапфы 165 мм. Усилия от давления рабочей жидкости на поршни 5 и 11 воспринимаются траверсой 9 и передаются через ролики и обоймы 7 на криволинейные участки копира 8, состоящего из двух полуколец, каждое из которых закреплено в корпусе болтами. В этой конструкции траверсы 9 объединяют усилия поршней 5 и 11. При этом они выполняют не только функции, связанные с восприятием и передачей траверсам усилий от давления рабочей жидкости, но и передают стенкам блока цилиндров реакции от тангенциальной составляющей осевого усилия со стороны поршней.

В настоящее время Людиновский агрегатный завод производит гидромоторы с рассмотренной выше поршневой группой (рабочий объем 1,0, 2,5 и 16 дм<sup>3</sup> для моделей МР1(2,5) и 1 МР16С, соответственно,

причем последняя является эквивалентной заменой гидромотору МР16К для объемного гидропривода судовозной камеры [4]). Гидромотор с рабочим объемом 2,5 дм<sup>3</sup> по аналогичной конструктивной схеме, но с шифром 4ПП-2М.72.04.600 производит Ясиноватский машиностроительный завод Донецкой области для объемных гидроприводов проходческих комбайнов

Переход от конструкций “траверса–поршень” к “поршень–ролик” относится к середине 1970-х годов. Одной из первых в мире освоила производство гидромоторов с поршневой группой “поршень–ролик” фирма SISU. Гидромоторы предназначены для преимущественного использования в качестве мотор-колес тяжелых транспортных средств [4]. Уже в начале 1980-х годов фирмой выпускались гидромоторы с рабочим объемом от 600 до 2500 см<sup>3</sup> на номинальное давление 30 МПа и максимальное 40 МПа. Гидромоторы имели регулируемый рабочий объем (1:2) и устройство для обеспечения движения в режиме “накат”, когда поршневые группы смещаются к центру под действием давления, подводимого в корпус. Режим “накат” используется при буксировке транспортного средства или при движении на повышенных скоростях.

Дальнейшее совершенствование конструкций поршневых групп в сочетании с новыми материалами и технологиями привело к появлению конструкций типа “поршень–ролик”, “поршень–шарик” и полифункциональных конструкций, где роль поршня и его опоры на направляющую играет одна деталь — ролик или шарик.

На рисунке 9 представлены поршневые группы современных радиальнопоршневых гидромоторов с опорой ролика на поршень. Поршень 1 с роликом 2 размещен в блоке цилиндров 3. Под действием дав-



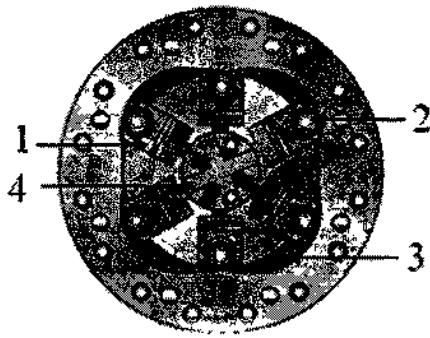


Рисунок 10 — Гидромотор серии XF05 фирмы Rotary Power

ления рабочей жидкости в подпоршневом пространстве и посредством ролика 2 осуществляется контакт с профильным кулачком 4 и передача крутящего момента на блок цилиндров 3. Для снижения износа и коэффициента трения в паре вращения “ролик–поверхность поршня” применяют антифрикционный материал 5 (рисунок 9, а) или гидростатическую разгрузку в камере 7 путем подвода к ней рабочей жидкости по каналу 6 (рисунок 9, б). Герметичность поршней обеспечивается с помощью уплотнений 3.

На рисунке 10 показан поперечный разрез гидромотора серии XF05 фирмы Rotary Power, в котором наряду с современными поршневыми группами (поршень 1 и ролик 2, опирающийся на копира 3) используется цапфенный распределительный узел 4, уступающий по герметичности торцовому.

На рисунке 11 изображена поршневая группа гидромотора МРВ2-64 с рабочим объемом 64000 см<sup>3</sup>, разработанного во ВНИИГидроприводе для вращения черпачного колеса драги для добычи золота. В стакане (крышке) 1 установлен поршень 2, во внут-

ренней расточке которого размещен сферический шатун 3. В шатуне 3 на игольчатых роликах 7 размещен вал 4, концы которого посредством втулок 8 опираются на две параллельные беговые дорожки ротора-копира 9. Опорные кольца 5 с ограничительными шайбами 6 служат для восприятия боковых нагрузок, действующих на поршень 2 с помощью щек 10.

В таблице 2 приведены технические характеристики радиальнопоршневых гидромоторов однократного и многократного действия 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).

Следует отметить создание корпорацией *Hagglunds Drives Systems — Rexroth Bosch Corp.* гидромотора серии *CBM* с максимальным рабочим объемом 380133 см<sup>3</sup> на давление до 35 МПа, который является абсолютным мировым лидером среди всех типов высокомоментных гидромоторов по развиваемому крутящему моменту в 2115 кНм.

#### Выводы

1. Радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия имеет рабочий объем от 16 см<sup>3</sup> до 380 дм<sup>3</sup> на давление до 45 МПа. Основной компоновочной схемой гидромоторов является вращающийся блок цилиндров с поршневыми группами и неподвижный наружный профилированный копира.

2. Ведущей тенденцией в радиальнопоршневых гидромоторах многократного действия стал переход на миниатюрные поршневые группы “поршень–ролик”, допускающие боковую нагрузку на поршни и замену цапфенных распределительных узлов на более герметичные торцовые.

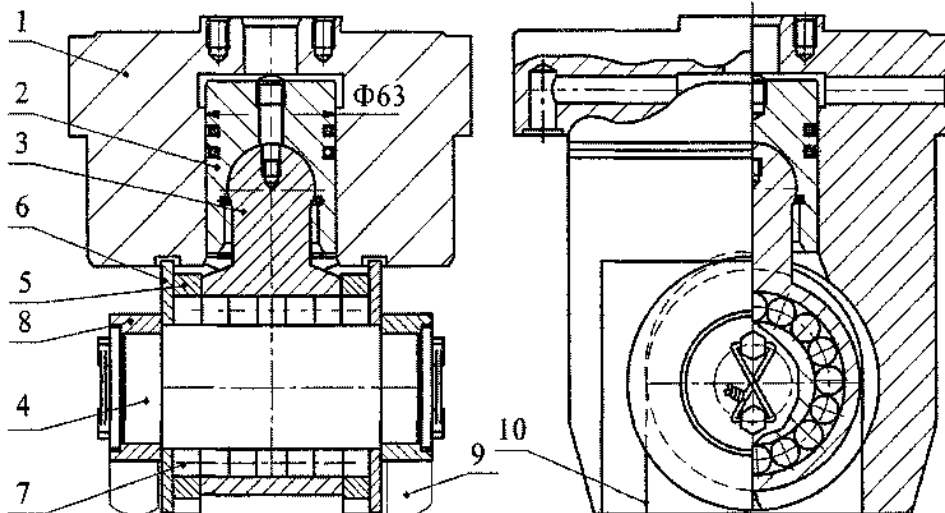


Рисунок 11 — Поршневая группа гидромотора МРВ2-64 конструкции ВНИИГидроприводе

Таблица 2 – Технические характеристики радиальнопоршневых гидромоторов

Серия	$V_p, \text{см}^3$	$M, \text{Н.м} / \Delta p, \text{МПа}$	$n, \text{мин}^{-1}$	КПД	$P, \text{кВт}$	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. MPФ...M1	160	/ 32	600	0,90		58
11. MPФ...M1	1600	/ 32	220	0,87		220
12. WL 10 SK	2,9	/ 40	3500	-	4	-
13. WL 350 SV	101778	/ 25	36	-	1000	-
14. MCR 3	160	1145 / 45	400	-	18	20
15. MCR 20	3000	19080 / 40	115	-	85	110
16. MS02	172	1231/ 45	590	0,91	18	26
17. MS25	2498	17873/ 45	137	0,9	90	210
18. MS125	15000	76320/ 32	30	0,90	240	460
19. MA 141	8890	/ 35	80	0,97		990
20. MB 4000	251323	1398612/ 35	12	0,97	1580	10750
21. CBM	75838	422038/35	-	-	-	-
22. CBM	380133	2115440/35	-	-	-	-
23. XF05 A	392,7	2622 / 42	500	-	50	46
24. XF05 D	680,9	4547 / 42	370	-	50	46
25. MP1000	1000	/25				90
26. MP16000	16000	/ 16				1100

Примечания: 1) №№ 1–13 — гидромоторы однократного действия (эксцентрикковые); 14–26 — многократного действия;

2) 1, 2 — Riva Calzoni; 3–5 — Sai; 6, 7 — Kawasaki Motors Corp. ; 8, 9, 23, 24 — Rotary power; 10, 11, 25, 26 — Людиновский агрегатный завод; 12, 13 — Lowen Hydraulic; 14, 15 — Rexroth Bosch Group; 16–18 — Poclain hydraulics; 19, 20 — Hagglands Drives AB; 21, 22 — Hagglands Drives Systems — Rexroth Bosch Corp.;

3) под чертой приведено максимальное (пиковое) значение перепада давлений.

**Література**

1. Poclain hydraulics. selection guige, 2011. — 03. — 2011. — 45 p.
2. Рогов, А.Я. Выбор параметров уравновешенных радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия / А.Я. Рогов // Вестник машиностроения. — 1971. — № 11. — С. 19.\*
3. Пономаренко, Ю.Ф. Высокомомментные радиальнопоршневые гидромоторы горных машин. — М.: Недра, 1972. — 376 с.
4. Докукин, А.В. Радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия: Конструкция, теория и расчет / А.В. Докукин А.Я. Рогов, Л.С. Фейфец.— М. : Машиностроение, 1980. — 288 с.

**References**

2. Poclain hydraulics. Selection guige, 2011. — 03.2011. — 45 p.
2. Rogov, A.Ya. Vybory parametrov uravnovesennykh radial-piston hidromotorov mnogokratnogo deystviya / A.Ya. Rogov // Vestnik mashinostroeniya. — 1971. — № 11. — P. 19.
3. Ponomarenko Yu. F. Vysokomomentnye radial-piston hidromotory gornyykh mashin / Yu. F. Ponomarenko. — M.: Nedra, 1972. — 376 p.
4. Dokukin, A.V. Radial-piston hidromotory mnogokratnogo deystviya: Konstruktsiya, teoriya i rashchet / A.V. Dokukin, A. Ya. Rogov, L.S. Feyfets. — M.: Mashinostroenie, 1980. — 288 p.

Надійшла 6.02.2014

УДК 621.22

**Аналіз конструкцій радіально-поршневих гідромоторів багатократної дії**

**Г.А. Аврунн, І.І. Мороз**

Наведено аналіз конструкцій радіальнопоршневих гідромоторів багатократної дії (згідно вживаної провідними світовими фірмами термінології ці гідромотори відносяться до класу HTLS — високомоментних тихохідних гідромоторів), які знаходять широке вживання у різних галузях промисловості, переважно в об'ємних гідроприводах мобільних машин як привод ходу, вантажопідйомних механізмах, землерийних машинах та ін., у низці випадків конкуруючи з аксіально-поршневим гідромоторам з планетарними редукторами. Сучасні гідромотори мають мініатюрні високонавантажені поршневі групи, забезпечують ступінчасте регулювання робочого об'єму, оснащені гальмами, пристроями вільного ходу, датчиками частоти обертання і іншими компонентами, що забезпечують конструктору зручність при проектуванні

гідроприводів і зниження габаритно-масових показників. Провідними виробниками гідромоторів багатократної дії є фірми *Hagglunds Drives AB* (Швеція), *Poclain Hydraulics* (Франція), *Rexroth Bosch Group* (ФРН), *SISU* (Фінляндія) і *Rotary Power* (Англія), Людіновський агрегатний (Росія) та Горлівський машинобудівний (Україна) заводи. Наведені інформаційні матеріали можуть бути корисними для фахівців в галузі створення нових гидрофікованих машин з підвищеними вимогами до вихідних параметрів гідромоторів по крутному моменту і мінімальній частоті обертання, а також у навчальному процесі.

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

UDC 621.22

**Analysis of constructions of radial piston hydraulics motors of multiple action**

**G.A. Avrunin, I.I. Meroz**

The analysis of constructions of radial piston motors of multiple action (in obedience to applied the leading world firms of terminology these hydraulics motors behave to the class of HTLS — high torque slow speed hydraulics motors), which find a wide in different branches of industry, is given in the article, in particular, mainly in by hydraulic fluid power of mobile machines as a drive of the motion, crane mechanisms, earthmovers and other, in a number of cases rendering a competition axial piston motors with planetary reducing gear. Miniature high-rate piston groups have modern hydraulics motors, provide the step adjusting of the displacement, equipped brakes, devices of free motion, sensors of frequency of rotation and other komponents, providing a designer a comfort at planning of transmissions and decline of overall-mass indexes. The leading producers of hydraulics motors of multiple action are firms *Hagglunds Drives AB* (Sweden), *Poclain Hydraulics* (France), *Rexroth Bosch Group* (GFR), *SISU* (Finland) and *Rotary Power* (England) and Ludinovskiy aggregate (Russia) and Gorlovskiy machine-building (Ukraine) factories. 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 hydromotors on a torque and minimum frequency of rotation, and also in educational aims.

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