

УДК 621.22

Г.А. АВРУНИН, канд. техн. наук; доц. ХНАДУ, Харьков;
И.И. МОРОЗ, ст. преп. ХНАДУ, Харьков

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

Приведен краткий исторический опыт развития объемного гидропривода и показаны современные достижения в реализации ряда важных технических задач.

Ключевые слова: гидропривод, насосы и гидромоторы, технический уровень.

Введение

Технический прогресс объемного гидропривода (ОГП) проявляется в непрерывном расширении его возможностей путем приобретения гидрофицированными машинами и механизмами более прогрессивных свойств и характеристик, таких как КПД, реализация режимов энергосбережения, надежность, быстроедействие и точность позиционирования, способность функционирования в критических эксплуатационных условиях по температуре рабочей жидкости (РЖ), окружающего воздуха и др. Достижение требуемых от гидропривода параметров зависит от возможностей его работы на повышенных нагрузках (давлениях), частотах вращения и температурах, что в значительной мере определяется уровнем технологии изготовления, методик расчета, материалов и комплектующих узлов (антифрикционных материалов, уплотнений, РЖ, электроники, датчиков, подшипников, рукавов высокого давления и др.). ОГП является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей машиностроения как с точки зрения количественных показателей, так и повышения технического уровня. Современный этап развития ОГП характеризуется прежде всего массовостью его производства во многих странах мира, автоматизацией производственных процессов гидрофицированных машин за счет использования достижений электрогидроавтоматики, поиском энергосберегающих решений на основе использования насосов и гидромоторов с регулируемым рабочим объемом, расширением температурного диапазона, широкой стандартизацией гидравлических компонентов, снижением уровня шума и, конечно, снижением металлоемкости гидромашин и гидроаппаратов. Произошло довольно четкое разделение гидрооборудования на изделия, предназначенные для использования в мобильном секторе машиностроения и стационарных машинах и установках, образовались достаточно устойчивые связи между изготовителями гидрофицированного оборудования и производителями гидравлических компонентов, накопился большой опыт эксплуатации такого оборудования, определились преимущества и недостатки ОГП, а также перспективы и задачи, требующие решения для дальнейшего развития этой отрасли машиностроения. Поэтому систематизация и анализ достижений и проблем современного ОГП оказывают влияние на формирование актуальных задач для конструкторов и ученых, открывают для потребителей широкие возможности подбора гидрооборудования и являются стимулом для развития отечественной конкурентоспособной промышленности.

© Г.А. Аврунин, И.И. Мороз, 2014

Основная часть

Мировая история развития гидропривода и гидравлических передач насчитывает немногим более 100 лет. Уже на первой автомобильной выставке в Берлине в конце 19 века демонстрировался автомобиль с ОГП [1], а во время первой мировой войны ОГП применялся на танках.

Однако ОГП не получили распространения на автомобилях из-за сложности конструкции, высокой стоимости, жесткости характеристик и низкого КПД, вызывающего большой нагрев гидросистемы. В качестве альтернативы ОГП в автомобилестроении стали использоваться гидромеханические передачи, сочетающие гидродинамические (гидротрансформаторы), механические передачи и системы управления, благодаря которым достигнуто автоматическое переключение передач и поэтому такого типа коробки передач стали классифицироваться как автоматические. Гидротрансформаторы впервые получили распространение на судовых двигательных установках при переходе с паровых поршневых машин к быстроходным турбинам.

Благодаря внедрению автоматических коробок передач удалось повысить надежность и долговечность агрегатов автомобиля, упростить его управление за счет исключения педалей сцепления и необходимости постоянного пользования переключателем передач, улучшить комфортабельность езды, обеспечить легкость обучения водителя и др. В настоящее время автоматическими коробками передач снабжаются в США до (85...90) % легковых автомобилей, почти все городские автобусы и значительная часть грузовых автомобилей, в Европе и Японии до (25...30) % легковых автомобилей. В управлении автоматической коробкой передач существенную роль играют устройства ОГП, в том числе гидро- и электрогидроавтоматики (насосы, гидрораспределители с электромагнитным, в том числе пропорциональным управлением, гидроклапаны давления, фильтры и теплообменные аппараты).

В 1933 г. проф. И.И. Куколевским проанализирован зарубежный опыт в области гидропередач объемного (гидростатического) и гидродинамического принципа действия (табл. 1) и дан перспективный прогноз их развития [2]:

1 Гидропередачи начали развиваться начиная с 1914 г.

2 Все гидропередачи классифицировались как гидродинамические трансформаторы, в том числе:

2.1 Поршневые гидропередачи и гидропередачи на базе пластинчатых (лопастных) насосов и гидромоторов.

2.2 Комбинированные гидротрансформаторы на базе поршневых, пластинчатых и шестеренных гидромашин в любых комбинациях.

2.3 Лопаточные гидротрансформаторы на базе комбинаций центробежного насоса и турбины.

Таблица 1

Оценка технического уровня гидропередач в 1933 г.
(в баллах [2]), изложенная в современной терминологии

Тип гидромашин	Надежность	КПД, %	Регулируемость и приспособляемость	Масса
Пластинчатые	4	70–80	3	4
Радиальнопоршневые	2	78–83	1	2
Аксиальнопоршневые	3	70–80	–	1; 2
Гидродинамические: трансформаторы гидромурфты	1	80–84 97	2	0,8

Среди объемных гидромашин предпочтение отдавалось радиальнопоршневым однократного (эксцентрикового) и многократного (многоходового) действия. Перспективными для ОГП ожидалось следующие области: для станкостроения пластинчатые и поршневые гидромашини мощностью до 36 кВт; регулируемые насосы для кузнечно-прессового оборудования; гидропередачи нераздельного исполнения для тепловозов и различного рода вспомогательных стационарных и судовых установок мощностью до 150...300 кВт, обслуживающих механизмы с переменным режимом или периодической работой.

Для тепловозов и судовых силовых установок прогнозировался приоритет гидродинамических передач (гидротрансформаторов и гидромуфт).

Таким образом, были определены направления и области использования гидроприводов объемного и гидродинамического типов. Прогноз не оправдался только относительно роли аксиальнопоршневых гидромашин, так как последние по техническому уровню, в том числе возможностям регулирования, и объему производства занимают сегодня ведущее место как в стационарных, так и в ОГП мобильных машин. Радиальнопоршневые насосы и гидромоторы также получили широкое распространение, но имеют более локальные области применения по сравнению с аксиальнопоршневыми. Если по давлению современные радиальнопоршневые насосы в ряде случаев превосходят аксиальнопоршневые (номинальные значения достигают 50...70 МПа против 32...50 МПа), то по скоростным и энергетическим (удельным) показателям уступают. Высокомоментные радиальнопоршневые гидромоторы однократного и многократного действия также имеют сегодня высокий технический уровень, широко используются в качестве моторколес в транспортных тяговых машинах, приводах вращения лебедок кранов для различных отраслей, стационарных приводах вращения, но часто уступают по применимости в мобильных машинах аксиальнопоршневым быстроходным гидромоторам в комбинации с цилиндрическими и планетарными редукторами или коробками передач.

В 30-е годы наибольшее распространение получили аксиальнопоршневые гидромашини с наклонным диском и радиально-поршневые эксцентрикового (однократного) и многократного принципа действия. Следует отметить появление в этот период ОГП мощностью порядка 1000 кВт и освоение рабочих давлений до 10...20 МПа, а КПД гидропередач достигал 82 %. Например, аксиальнопоршневые гидропередачи в британском флоте имели мощность до 400 кВт при КПД до (78...81) %.

Одним из основных выводов доклада [1] явилась констатация отсутствия в советском довоенном машиностроении опыта в области создания гидравлических передач.

Последующие 30 лет дали существенный скачок в развитии гидропередач и к 60-м гг. за рубежом достигнуты [3, 4]:

– рабочие давления аксиально- и радиальнопоршневых гидромашин до 40...52 МПа;

– повышение долговечности гидромашин с 500 до 3000 ч;

– мощность гидромашин до 4500 кВт. Например, аксиально-поршневой насос типа 300АНД английской фирмы «Vickers» при рабочем объеме 22 дм³ и частоте вращения 400 мин⁻¹ имел подачу в 8615 л/мин и мощность 4478 кВт при давлении 21 МПа, массу 19500 кг, отношение массы к мощности 4,35 кг/кВт;

- максимальная частота вращения аксиальнопоршневых гидромашин до 2000...12000 мин⁻¹ в зависимости от рабочего объема;
- созданы высокомоментные тихоходные радиальнопоршневые гидромоторы однократного и многократного действия с рабочим объемом до 6...45 дм³, но в то же время давление не превышало 6...20 МПа;
- снижение металлоемкости, например, для аксиальнопоршневых гидромашин удельная мощность по сравнению с 1975 г. снижена более чем в 3 раза (табл. 2).

Таблица 2

Технический уровень аксиальнопоршневых гидромашин

Тип гидромашин:	Отношение массы к мощности, кг/кВт		
	до 1960 г.	до 1975 г.	2012 г.
С постоянным рабочим объемом (мотор-насосы)	0,65...1,6	0,25...0,66	0,08...0,15
Насосы с регулируемым рабочим объемом	2,4...4,0	0,8...1,3	0,21...0,31

Особое внимание стало уделяться очистке РЖ, как одному из основных факторов повышения долговечности и надежности ОГП.

При этом следует отметить то, что снижение массы гидромашин для мобильной техники сопровождалось, при их непрерывном агрегатировании, устройствами для обеспечения функционирования в замкнутой цепи циркуляции РЖ, включая предохранительные и антикавитационные клапаны, насос подпитки, «промысловый» гидрораспределитель, регуляторы различного функционального назначения, гидроаппараты предотвращения работы в режиме постоянного открытия предохранительных клапанов основных магистралей, контрольные точки для возможности измерения давления. Агрегатирование гидромашин позволяло еще больше снизить металлоемкость ОГП.

Применение ОГП в машинах для земляных работ началось в 30-х гг. прошлого столетия в качестве вспомогательных устройств для управления механическими силовыми приводами, в частности, для включения фрикционных муфт и тормозов лебедок канатных систем рабочего оборудования [5]. После второй мировой войны началось более широкое внедрение ОГП в землеройно-транспортных машинах. Однако низкий уровень давлений и зависимость коэффициента кинематической вязкости РЖ от температуры ограничивали возможности создания эффективных конструкций и эксплуатации машин с ОГП в различных климатических зонах. Результатом творчества конструкторов, технологов и материаловедов явилось создание ОГП на давление до 20 и затем до 40...50 МПа, содержащих надежные уплотнения, рациональные системы управления и защиты от перегрузок, РЖ для эксплуатации в различных климатических зонах и средства их кондиционирования. Уже в 70-х гг. в экскаваторах стал широко использоваться ОГП для гусеничного и колесного хода и технологического оборудования.

Интенсивное развитие производство комплектующих для ОГП получило в 70–80 гг. в связи с закупкой бывшим СССР лицензий на гидромашин, гидрораспределители и системы смазки.

Аксиальнопоршневые гидромашин с наклонным блоком цилиндров типа «*Hydro-Gigant*» фирмы «*CONSTANTIN RAUCH*» (ФРГ) были освоены производством

«Стройгидравлика» (г. Одесса), «Машиностроительный завод им. М.И. Калинина» (г. Москва), «Пневмостроймашина» (г. Екатеринбург) и «Пролетарский завод» (г. Санкт-Петербург). Регулируемые насосы и нерегулируемые насос-моторы имели рабочие объемы от 11,6 до 224 см³ и от 468 до 1830 см³ на номинальное давление 16 МПа (максимальное 25 и 35 МПа, соответственно) [6].

Выпуск аксиальнопоршневых регулируемых насосов и насос-моторов с наклонным диском серии A1V по лицензии фирмы «M. REXROTH» освоил шахтинский завод «Гидропривод» Ростовской области. Рабочий объем гидромашин от 32 до 250 см³ на давление до 32 МПа для насосов и насос-моторов серий PNA-V/320 и PMNA-V/320, соответственно.

Лицензия на аксиальнопоршневые насосы и гидромоторы с наклонным диском серии 20 фирмы «SAUER-SUNDSTRAND» была закуплена для преимущественного использования в мобильных машинах сельскохозяйственного и военного назначения. В состав лицензии вошли закупки конструкторской и технологической документации на 8 рабочих объемов гидромашин от 33 до 338 см³ на давление до 35 МПа, а также высокопроизводительное технологическое оборудование, обеспечивающее их ежегодный выпуск до 150 тыс. штук. Гидромашин производятся в Российской Федерации на Салаватском и Парголовоком заводах и в Украине заводом «Гидросила» (г. Кировоград). На базе конструктивной схемы гидромашин серии 20 Центральным НИИ Автоматики и Гидравлики (ЦНИИ АГ, г. Москва) создана серия качающих узлов (модулей) и гидropередач для военной техники с рабочим объемом от 14,75 до 300 см³, причем форсированных по температуре PЖ от «минус» 50 до 125 °C [7].

Для строительно-дорожной, буровой техники и судовых подъемных механизмов были закуплены лицензии на радиальнопоршневые высокомоментные гидромоторы однократного действия серии MR фирмы «RIVA CALZONI» (Италия) с рабочим объемом 1100 и 1800 см³ на номинальное давление 21 МПа, и многократного действия серии «Viking» фирмы «HAGGLUNDS» (Швеция) моделей 4070 и 6070 с рабочим объемом 9 и 11 дм³, соответственно, на номинальное давление 12,5 МПа. Производство гидромоторов освоено Одесским заводом «Стройгидравлика» и «Пролетарским заводом» (г. Санкт-Петербург), соответственно.

Для ОГП сельскохозяйственных машин в 80-х гг. прошлого века стали выпускаться планетарно-роторные гидромоторы серии ГПР отечественной разработки (завод «Хидроимпекс», Республика Молдова), завод «Омскгидропривод» освоил лицензионное производство героторных гидромоторов серии МГП, для комплектации ОГП строительно-дорожных машин на харьковском заводе «Стройгидравлика» начали выпускаться моноблочные гидрораспределители типа ГГ420, причем в составе лицензии фирмы «M. REXROTH» (ФРГ) закуплены автоматические линии «GROB» и «GERING» для изготовления золотниковых пар с активным контролем размеров, а в 1986 г. в результате закупки станков-автоматов фирмы «WICKMAN» (Англия) начато изготовление врезных соединений для трубопроводов. В этот же период заводом «Гидроаппарат» (г. Ульяновск) по лицензии фирмы «M. REXROTH» освоено производство гидрораспределителей серии ВЕ6...32 на давление до 32 МПа для преимущественного использования в стационарных ОГП.

К основным преимуществам ОГП относят возможность обеспечения бесступенчатого и широкого диапазона регулирования скорости гидродвигателя, высокое быстродействие, возможность создания больших линейных усилий с помощью гидроцилиндров, возможность обеспечения «гибкой» связи между приводящим двигателем насоса и гидродвигателем за счет применения рукавов высокого давления.

К недостаткам ОГП следует отнести более низкий КПД по сравнению с механическими и гидродинамическими передачами, повышенный уровень шума, наружные утечки РЖ приводят к загрязнению окружающей среды и финансовым потерям, сложность эксплуатации в широком температурном диапазоне из-за изменения вязкости РЖ и необходимости ее тщательной очистки для поддержания высокого уровня надежности.

Примеры успешного применения ОГП:

– подъем атомной подводной лодки «Курск» со дна Баренцова моря с помощью 26 гидроцилиндров усилием до 9000 кН каждый;

– эксплуатация судовозной камеры на Красноярской ГЭС, обеспечивающей с помощью ОГП проводку судов через плотину высотой 124 м. ОГП включает 156 гидромоторов с рабочим объемом 16 дм³, общей мощностью 14400 кВт и крутящим моментом 6300 кН·м при перепаде давлений 16 МПа;

– трансмиссии уборочных комбайнов отечественного и импортного производства («Дон-1500», «Славутич-9м», «Обрий»), оснащенные ОГП на базе аксиальнопоршневых гидромашин;

– строительные, дорожные машины и тракторы, подъемные краны и трубоукладчики, машины для подземного горизонтально-направленного бурения, горное оборудование;

– станки, литейное и кузнечно-прессовое оборудование;

– оборудование для авиации, ракет, судов и военной техники.

Нынешнее состояние ОГП характеризуется периодом интенсивного развития – мировое производство гидропневмоустройств в 2010 г. достигло \$34,3 млрд, в том числе гидравлических \$24,6 млрд. (71,7 %) и \$9,7 млрд. пневматических [8]. Только в Европе гидромоторы производят более 80 фирм в номенклатуре более 300 типов, в том числе 122 аксиальнопоршневых, 65 шестеренных наружного зацепления и 24 шестеренных внутреннего зацепления, 46 радиальнопоршневых однократного и многократного действия, 12 пластинчатых и 33 прочих типов [9].

К современным достижениям ОГП относят создание:

– аксиальнопоршневых насосов и гидромоторов с наклонным диском и быстроходных аксиальнопоршневых гидромоторов с наклонным блоком цилиндров на давление до 52 МПа;

– шестеренных насосов с внутренним зацеплением фирмы «Eckerle» (ФРГ) на максимальное давление 40 МПа и минимальным уровнем шума (55 дБА);

– малогабаритных шестеренных высокомоментных гидромоторов героторного (орбитального) типа;

– радиальнопоршневых насосов и гидромоторов однократного действия (эксцентриковых) с бесшатунной кинематикой поршневых групп и достижение давлений до 70 и 45 МПа, соответственно (пиковое давление для гидромоторов достигает даже 80 МПа);

– высокомоментных тихоходных радиальнопоршневых гидромоторов многократного действия на давление до 35...45 МПа с миниатюрными поршневыми группами, включающими опорные ролики, работающие одновременно в режиме трения скольжения по поршням и качения по профилированному кулачку (копиру);

– гидромашин с регулируемым рабочим объемом, в том числе с автоматическими регуляторами постоянства мощности и давления, и регуляторами дистанционного принципа действия на базе устройств электрогидроавтоматики. Регулируемые аксиальнопоршневые гидромашин являются основой для создания современных двухпоточных гидромеханических передач колесных транспортных

машин и тракторов, обеспечивающих высокий КПД в широком диапазоне скоростей передвижения [10]. В настоящее время в Харьковском национальном техническом университете «ХПИ» под научным руководством д.т.н. В.Б. Самородова ведутся научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по созданию двухпоточных трансмиссий для колесных тракторов;

– быстроходных шарикопоршневых гидромашин, на базе которых созданы моноблочные ОГП для работы в составе двухпоточных гидромеханических трансмиссий тяжелых гусеничных машин.

Ресурс работы практически всех типов гидромашин достигает 5...8 тыс. ч и до 20 тыс. ч гидромашин авиационной техники.

Список литературы: 1. *Чередниченко, Ю.И.* Automatic Transmission Group [Текст] / Ю.И. Чередниченко, Soruyright. – 2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.atgservice.ru. – 28 с. 2. *Куколевский, И.И.* Гидравлические трансформаторы (редуктора) и гидромфты (доклад НТО гидравликов 09.05.1932г.) [Текст] / И.И. Куколевский. – Издание Московского механико-машиностроительного института им. Н.Э. Баумана. – М., 1933. – 47 с. 3. *Маракин, Н.Ф.* Гидравлические моторы в СССР и за рубежом [Текст] / Н.Ф. Маракин, А.И. Кудрявцев, А.И. Гольдшмидт. – М.: ЦИНТИАМ Серия ОС-1Х (Компрессоры, насосы, кислородное и холодильное оборудование и арматура), 1964. – 190 с. 4. *Савин, И.Ф.* Объемные гидроприводы (Обзор) [Текст] / И.Ф. Савин. – М.: ЦИНТИМАШ, 1961. – 87 с. 5. *Холодов, А.М.* История науки и техники автодорожного транспорта [Текст]: учеб. пособие / А.М. Холодов. – Х.: Харьк. Госуд. Автомот. - Дорожн. Университет, 1994. – 115 с. 6. *Аврунин, Г.А.* Обзор рынка гидрооборудования [Текст] / Г.А. Аврунин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 2005. – № 3. – С. 7-13. 7. Унифицированные гидравлические приборы. ПО «Ковровский электромеханический завод» (ПО КЭМЗ) [Текст]: каталог. – Ковров, 1989. – 160 с. 8. Сучасні тенденції розвитку систем гідрооб'ємного рульового керування [Текст] / М.І. Іванов, О.М. Переяславський, С.А. Шаргородський, О.Р. Моторна // Промислова гідраліка і пневматика. – 2011. – 4(34). – С. 109-112. 9. *Свешников, В.К.* Обзор Российского рынка гидрооборудования. Гидромоторы [Текст] / В.К. Свешников // Приводная техника. – 1997. – № 6. – С. 3-5. 10. *Аврунин, Г.А.* Гидравлическое оборудование строительных и дорожных машин: учеб. пособие [Текст] / Г.А. Аврунин, И.Г. Кириченко, В.Б. Самородов; под ред. Г.А. Аврунина. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 467 с.

Поступила в редколлегию 29.09.13

УДК 621.22

Этапы развития и достижения современного объемного гидропривода [Текст] / Г.А. Аврунин, И.И. Мороз // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1(1044). – С. 185-191. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-774X.

Наведено короткий історичний досвід розвитку об'ємного гідропривода і показані сучасні досягнення в реалізації ряду важливих технічних завдань.

Ключові слова: гідропривод, насоси і гідромотори, технічний рівень.

Short-story historical experience of development of by hydraulic fluid power is resulted and modern achievements are rotined in realization of row of important technical tasks.

Keywords: hydraulic fluid power, pumps and hydromotors, technical level.