

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ

TREND DEVELOPMENT OF VOLUME HYDRAULIC DRIVES

Постановка проблемы

Благодаря известным своим преимуществам, таким как: малый объем и масса на единицу передаваемой мощности; простота плавного и бесступенчатого регулирования скоростей, усилий и защиты от перегрузок; малая инерционность исполнительных механизмов; возможности создания мехатронных модулей и систем любой сложности и ряда других, объемные гидроприводы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Они успешно применяются в современном технологическом оборудовании и мобильных машинах. По данным статьи [1] прогнозируемый ежегодный прирост мирового производства гидрооборудования до 2020 года составит 6,5 %.

При проектировании новых машин и оборудования остро стоит вопрос, на какие параметры объемного гидропривода следует ориентироваться? Решение его лежит в плоскости аналитического обзора технического уровня продукции выпускаемой ведущими мировыми фирмами-производителями гидрооборудования. Таким образом, установление тенденций развития систем объемных гидроприводов и его компонентов является актуальной научно-технической задачей.

Основная часть

Основными тенденциями развития современных промышленных гидроприводов является [2]:

♦ Интенсивное сращивание гидроприводов с электронными системами управления, применение “интеллектуальных” гидроаппаратов со встроенной электроникой и стандартных коммуникационных средств с открытой структурой, что позволяет:

- обеспечить “припасовку” гидропривода под конкретные технические решения;
- облегчить управление и разгрузить систему управления от функций регулирования давления насосов;
- повысить быстродействие и обеспечить диагностику неисправностей;
- снизить затраты на кабели и повысить помехозащищенность.

Повышение рабочего давления (шестеренных и пластинчатых насосов до 30 МПа, аксиально-поршневых —

до 42 МПа, радиально-поршневых — до 70 МПа), использование мультипликаторов давления.

♦ Расширение номенклатуры, в основном, в сторону миниатюризации.

♦ Улучшение эксплуатационных показателей:

- упрощение технического обслуживания;
- снижение уровня шума и вибраций;
- энергосбережение за счет повышения КПД гидромашин, оптимизации схемных решений, применение новейших систем управления (в том числе непосредственно от ПК), использование принципа частотного регулирования или насосно-аккумуляторного гидропривода;
- обеспечение экологической безопасности путем полного исключения наружных утечек и использования экологически чистых рабочих жидкостей;
- применение биологически разлагающихся рабочих жидкостей и рабочих жидкостей на водной основе или чистой воды (при условии снижения рабочих параметров, например, снижения рабочего давления вдвое);
- повышение надежности, в том числе за счет улучшения очистки рабочих жидкостей и применения диагностических средств.

♦ Всеобъемлющая унификация параметров и размеров (стандарты ISO), начиная от канавок под уплотнения и кончая рабочими параметрами, габаритными и присоединительными размерами всех узлов гидрооборудования и комплектующей электроники.

♦ Повышение качества оборудования, на основе сертификации производства по ISO 9000 и стандартизации методов испытаний, и его безопасности, в том числе за счет использования европейских нормативных документов EN 292 и EN 982.

♦ Широкое использование компьютерного проектирования, базирующегося на совершенных математических моделях рабочих процессов объемных гидроприводов и их элементов.

Стратегическим направлением в развитии объемного гидропривода и его компонентов является снижение их габаритов и металлоемкости при одновременном росте удельных мощностей. Однако следует отметить, что стоимость изготовления объемного гидропривода одинаковой мощности, с возрастанием давления снижается, но только до давления 30–40 МПа [3].

Гидроприводы. В настоящее время для автоматизации производства, опережающее развитие получили “интеллектуальные” гидроприводы — мехатронные модули, которые широко используются в мобильных машинах и уникальных проектах [1]. Перспективой дальнейшего развития объемного гидропривода является усовершенствование их систем управления, построенных на базе микропроцессоров и контроллеров, которые с высокой точностью и быстродействием обеспечивают реализацию сложных алгоритмов управления. При этом использование дискретных (импульсных, релейных) систем позволяет реализовать гидропривод на более простых технических устройствах [4]. Использование мощных пропорциональных электромагнитов, развивающих усилия, достаточные для прямого перемещения запорно-регулирующих элементов гидроаппаратов, позволяет применять аппараты прямого действия, благодаря чему существенно упрощается их схемная реализация, позволяющая перейти от двухкаскадных к однокаскадным схемам. Применительно к таким гидроаппаратам актуальной является задача повышения их быстродействия и ресурса, создание аппаратов способных на протяжении достаточно большого промежутка времени работать с высокими частотами переключений [4].

Для мобильной техники снижение массы гидромашины, при их непрерывном агрегатировании сопровождается комплектованием устройствами, обеспечивающими функционирование в закрытой системе циркуляции рабочей жидкости — предохранительными и антикавитационными клапанами, насосом подпитки, промывным клапаном, регуляторами разного функционального назначения, гидроаппаратами, предотвращающими работу в режиме постоянного открытия предохранительных клапанов основных магистралей, контрольными точками, позволяющими измерить давление [5].

Проведенный нами в статье [6] анализ схемных решений современных объемных гидроприводов позволил установить, что основным принципом их управления является принцип обратной связи, а гидропривод должен иметь свойства адаптивной (самонастраивающейся) системы. Современной тенденцией проектирования и производства промышленного оборудования и машин является использование блочно-модульного принципа. Для современных объемных гидроприводов такими модулями являются мехатронные модули движения — синергетическая совокупность механических (гидромеханических), электротехнических, электронных компонентов и информационных и программных средств, которые реализуют достижения заданного управляемого движения. Блочно-модульный подход к проектированию систем гидроприводов позволяет производить их декомпозицию, уменьшить количество степеней свободы, получить иерархическую структуру, провести структурный синтез и упростить схемную реализацию за счет минимизации внутренних обратных связей, которые можно получить от информационной модели, подчинить структуру объекта процессу функционирования, использовать типовые модули при ее построении.

Кроме этого, повышение технического уровня гидромеханических следящих приводов, в частности, их динамических свойств, можно достичь путем рационального выбора их кинематической схемы, оптимального выбора параметров и жесткости крепления [7].

Насосы. В условиях значительных усилий и скоростей, требований высокой точности и хорошей динамики, наличия больших пиковых нагрузок и температур наибольшее применение в системах объемных гидроприводов находят регулируемые аксиально-поршневые насосы, а именно с наклонным диском модели A10VSO (номинальное давление $p_{ном} = 28$ МПа, пиковое $p_{пик} = 35$ МПа, рабочий объем $V_0 = 10-140$ см³). Они отличаются использованием гидростатической разгрузки основных трущихся пар, низким уровнем шума, высоким КПД, наличием сквозного вала и различного исполнения по управлению [8]. Следует отметить, что аксиально-поршневые насосы PF фирмы *Oilgear Towler* (рабочий объем $V_0 = 4,5-580$ см³) могут работать на давлениях до 100 МПа на минеральных маслах и до 24 МПа на рабочих жидкостях HFA [1]. Электроприводные насосы UEW с двумя ступенями подачи фирмы *Hydramold Ltd* обеспечивает подачу 9 л/мин при давлении 20 МПа и 0,6 л/мин при 160 МПа [1].

Аксиально-поршневые насосы HALS 45/25 и HGLS 112/32 Шахтинского завода “Гидропривод” (номинальное давление $p_{ном} = 25$ и 32 МПа, рабочий объем $V_0 = 45$ и 112 см³ соответственно, КПД = 0,9), которые оснащены энергосберегающими LS-регуляторами, дополнительной гидроаппаратурой, а первая модель — вспомогательным насосом системы управления, по габаритным размерам меньше аналогов ОАО “Пневмостроймашина” [1]. Выполнение аксиально-поршневых гидромашин с двумя торцевыми волновыми кулачками, с которыми взаимодействуют пары поршней с шариками (рисунок 1), позволило фирме *Oleodinamica Geco* существенно уменьшить их осевые габариты [9].

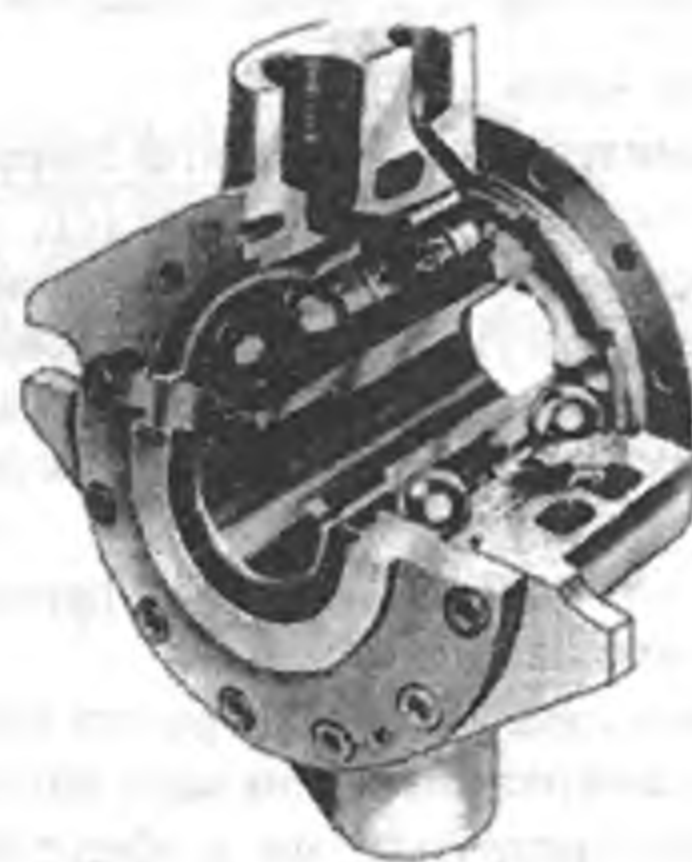


Рисунок 1 — Гидромашина SF фирмы *Oleodinamica Geco*

При разработке и проектировании насосов ведущими фирмами-производителями большое внимание уделяется снижению шума и вибрации за счет совершен-

створення процесів розподілу, змінення геометрії корпусу, використання гідростатическої розгрузки, зменшення сжимаемого об'єму робочої камери, розширення всасуючої лінії, віброізоляції насосного агрегату. Наприклад, введення компенсаційних камер в насосах PV фірми *Parker*, а також застосування насосів з пропорційним електроуправлінням забезпечує в мобільних машинах енергозбереження і захист двигача від перевантажень.

При розробці шестеренних насосів зовнішнього зацеплення велику увагу приділяється зниженню рівня пульсацій подачі за рахунок впровадження прогресивних конструктивних рішень — використання подвійних шестерень, повернутих на $1/2$ шага, застосування незвольнотного зубчатого зацеплення і ряду інших. Інтенсивно розвиваються малошумні шестеренні насоси внутрішнього зацеплення, які знайшли широке застосування для перекачування малов'язких рідин в різному технологічному обладнанні, і радіально-поршневий насоси, в тому числі і регульовані. Такі провідні фірми як *SAUER*, *LINDE*, *BOSCH Rexroth* і др. широко застосовують шестеренні насоси внутрішнього зацеплення як насоси підпитки при створенні гідрооб'ємних передач з замкнутою циркуляцією. В шестеренних насосах з внутрішнім зацепленням значне зниження шуму вдалося досягти за рахунок виключення запирання робочої рідини в міжзубових впадинах і розширення кутових секторів, що відповідають зонам всасування і нагнітання.

Шестеренні насоси внутрішнього зацеплення IPH фірми *Voith Turbo* (робочий об'єм $V_0 = 20,7-250 \text{ см}^3$ і робоче тиск 30 МПа) при КПД більше 90 %, високої довговічності і хорошій всасуючій здатності (вакуум до $0,04 \text{ МПа}$) мають пульсацію потоку і тиску менше 2–3 %, рівень шуму менше 68 дБА [2]. Такі насоси можуть ефективно застосовуватися в гідроприводах з частотним регулюванням. Сучасною тенденцією розвитку таких шестеренних насосів є збільшення КПД, зниження шуму і нерівномірності подачі, зменшення габаритів, що досягнуто шляхом багатокритеріальної оптимізації їх параметрів на базі розроблених математических моделей [10].

Розвиток пластинчатих насосів, які забезпечують малу, менше 3 %, пульсацію потоку і тиску при мінімальному рівні шуму, менше 68 дБА, лежить в площині підвищення рівня тиску. Пластинчаті насоси фірм *Parker Hannifin*, *Vickers*, *Rexroth* і др. працюють при тиску до 30 МПа , а фірма *Yuken* освоїла випуск пластинчатих насосів PV-11R на тиск до 40 МПа [2].

Одною з перспективних тенденцій розвитку нафтодобути є застосування для диспергації повітря, як входних ступеней центробіжних насосів, лабиринтно-винтових ступеней. Слід відзначити, що лабиринтно-винтові насоси широко застосовуються в різних галузях промисловості для перекачування агресивних і малов'язких рідин, при практично нульовій пульсації потоку і тиску [11]. Розвиток таких насосів відбувається в напрямку вдосконалення

форм їх проточної частини, визначенню оптимальних конструктивних і робочих параметрів.

Перспективним напрямком збільшення рівня тиску в гідросистемах є застосування мультиплікаторів *miniBOOSTER*, які дозволяють збільшувати тиск до $200-500 \text{ МПа}$ і створювати компактні зажимні механізми без застосування порівняльно мало надійних і дорогих насосів високого тиску. Пневмоприводні мультиплікатори тиску фірми "Мониторинг вентиль і фітинг" мають коефіцієнт мультиплікації 5–740, що дозволяє при тиску повітря на вході $0,85 \text{ МПа}$ отримувати тиск води на виході до 500 МПа [1].

В даний час 80 європейських фірм виробляють більше 300 типорозмірів гідромоторів, в тому числі 122 аксіально-поршневих, 65 шестеренних зовнішнього зацеплення, 46 радіально-поршневих, 24 шестеренних внутрішнього зацеплення і героторних, 12 пластинчатих, 33 інших. Діапазон параметрів цих гідромоторів: тиск — $6,3-48 \text{ МПа}$; робочий об'єм $V_0 = 0,25-150000 \text{ см}^3$; частота обертання — $0,1-10000 \text{ мин}^{-1}$; діапазон регулювання $1:7000$ [2]. Постійно удосконалюється конструкція гідромоторів. Так, наявність вбудованих датчиків качання поршнів регульованих радіально-поршневих гідромоторів фірми *Bosch Rexroth*, забезпечує можливість їх застосування в замкнутих циклах регулювання.

Сучасною тенденцією розвитку високомоментних радіально-плунжерних гідромоторів, за даними роботи [12], є виключення з їх конструкції підшипників качання, змінення розподільного вузла і застосування гідростатическої розгрузки. Це дозволило збільшити КПД, в тому числі і пускового режиму, радіально-поршневого гідромотора багаторазового дії до $0,95-0,98$.

Фірма *SAI* створила регульовані радіально-поршневий гідромотори нового покоління TV, BVFK4 і TS8, в тому числі з вбудованими редукторами, тормозами і датчиками кута повороту [8]. Планетарно-роторні гідромотори фірми *Hidroinpeh* потужністю 2; 6,5; 11; 22 і 33 кВт мають однакові присоединительні розміри і відрізняються тільки довжиною корпусу, що дозволяє досягти рівня уніфікації 85%. Центральні сквозні отвори, виконані в них, забезпечують можливість компактного вбудовування в приводні механізми [1].

Роторні планетарні гідромотори з плаваючими сателітами і некрутими сонячними колесами є одним з перспективних напрямків розвитку роторних гідромашин. На основі аналізу удільної маси гідромоторів різних типів (рис. 2, а), проведеного в [13], встановлено, що у планетарних гідромоторів з плаваючими сателітами з збільшенням маси в два рази робочий об'єм збільшується в 6,5 рази. Для героторних гідромоторів їх маса від робочого об'єму практично не залежить.

Для одного і того ж робочого об'єму маса аксіально-поршневого гідромотора порівняно з планетарним з плаваючими сателітами більше в 6 раз, радіально-поршневого в 2 рази, героторного в 5 раз. Удель-

ний момент планетарних гидромоторов с плавающими сателлитами, приходящийся на его массу, значительно превышает все остальные (рисунок 2, б). Эти гидромоторы по массо-габаритным показателям и по коэффициенту совершенствования конструкции в настоящее время не имеют себе равных [13].

Планетарные гидромоторы с плавающими сателлитами единственные, которые могут работать на огнестойкой рабочей жидкости (98 % воды и 2 % эмульсола), стоимость которой в 30 раз дешевле масла. Дальнейшее развитие таких гидромоторов лежит в плоскости изучения рабочих процессов, определения оптимальных конструктивных и рабочих параметров.

Для реализации неполноповоротных вращательных движений расширяется использование поворотных гидродвигателей, в том числе с поршнем, имеющим разнонаправленные несамотормозящие винтовые нарезки, которые взаимодействуют с соответствующими нарезками корпуса и выходного вала.

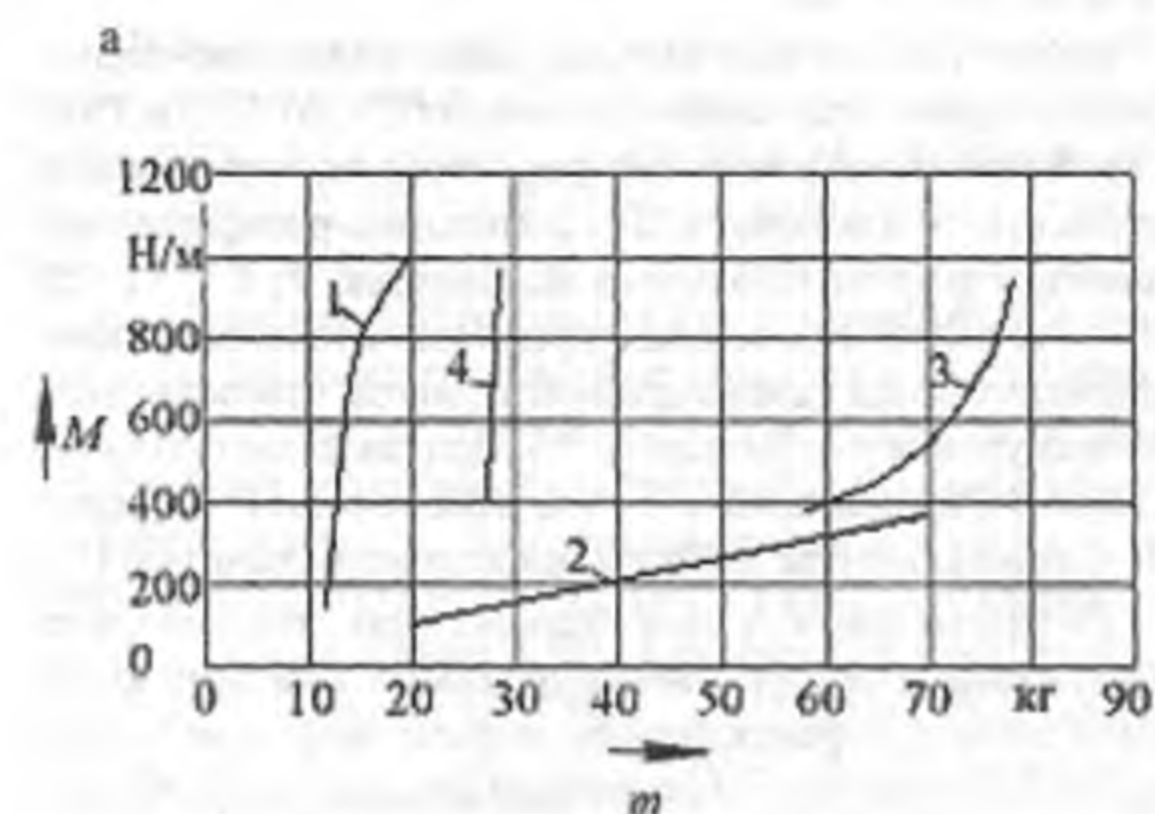
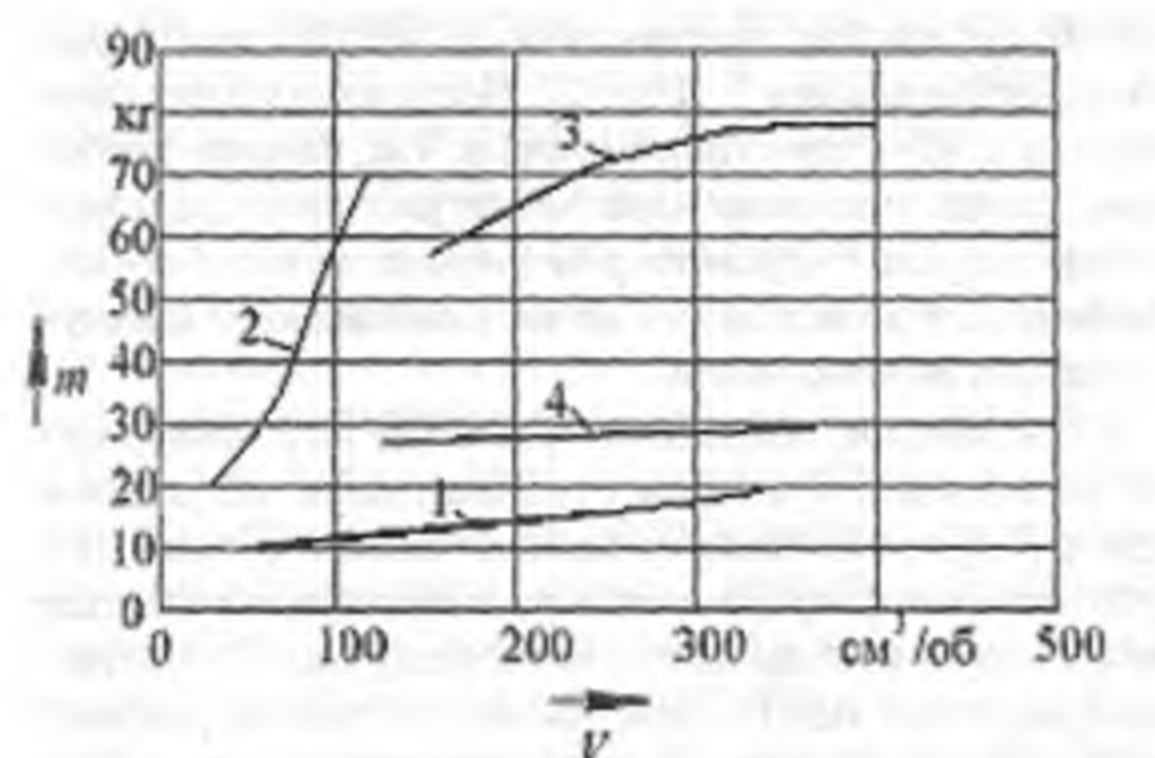


Рисунок 2 — Удельные массовые показатели — а; удельный момент — б, гидромоторов различных типов: 1 — планетарно-роторный; 2 — аксиально-поршневой; 3 — радиально-поршневой; 4 — героторный

Развитие гидроцилиндров идет в направлении их доукомплектования различными компонентами, совершенствованием технологии изготовления. В настоящее время разработаны цилиндры с гидрогазовыми аккумуляторами, встроенными в шток, а также датчиками положения поршня, регуляторами расхода, электроуправляемыми распределителями и малогабаритными гидростанциями (рисунок 3).



Рисунок 3 — Цилиндр, укомплектованный малогабаритной гидростанцией

Использование новых технологий и датчиков при их изготовлении позволяет получить гидроцилиндры с совершенно новыми качествами. Так, при изготовлении гидроцилиндров фирма *Hunger Hydraulik* наряду с твердым хромированием, никелированием или полимерным покрытием штока применяет систему термического распыления *Ceraplate*, которая позволяет контролировать ход на базе датчика работающего по принципу эффекта Холла (разрешение 1 мм), а покрытие *Ultraplate*, основанное на методе сварки дуговой плазмой, обеспечивает возможность работы в среде соленой морской воды [8].

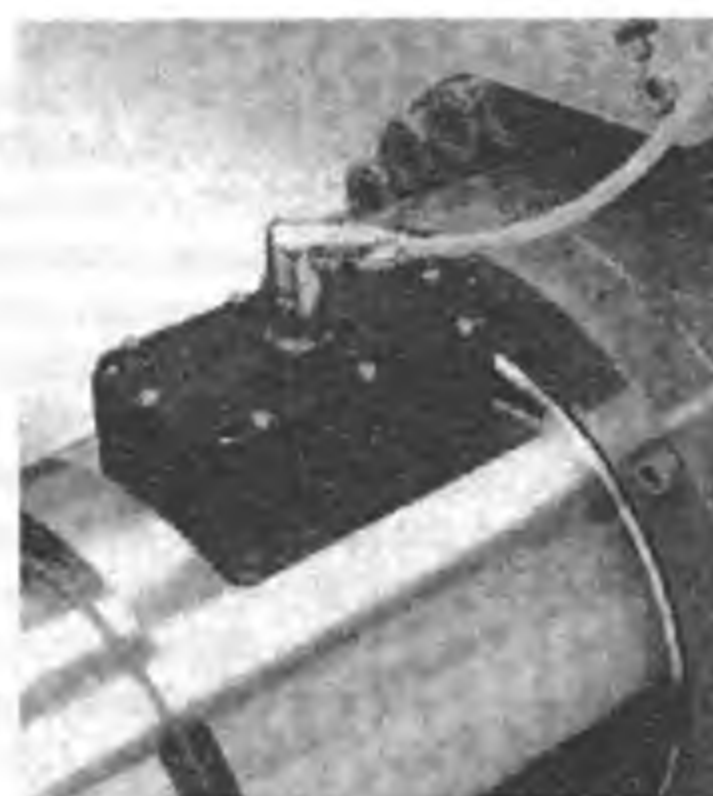


Рисунок 4 — Позиционный датчик CIAMS фирмы Bosch Rexroth

Встроенная система измерения хода фирмы *Bosch Rexroth-CIMMS* с абсолютным позиционным датчиком измерения хода штока обеспечивает позиционирование с точностью до сотых долей мм. При работе системы (рисунок 4) специальный поверхностный сканер с сенсорами и магнитом взаимодействует с рисками, нанесёнными на штоке под слоем керамического покрытия, микропроцессорный модуль обрабатывает информацию и передаёт её по шине *CANopen*.

Созданы принципиально новые приводные элементы — механические мышцы, представляющие собой отрезок рукава высокого давления с заделками. При подаче давления происходит увеличение поперечного сечения мускула и соответствующее уменьшение его длины, т.е. создается тяговое усилие в осевом направлении [8].

Гидроаппаратура. Современной тенденцией в развитии гидроаппаратуры является ее миниатюризация (появились аппараты с $D_y = 2$ мм), расширение ее номенклатуры и улучшение технических параметров, применение аппаратуры ввертного монтажа (рисунок 5) и оригинальных аппаратов для выполнения заданных функций. Так в ЭНИМСе разработаны новые модульные аппараты с условным проходом 6 мм, в том числе отсутствующие в номенклатуре ведущих мировых производителей.



Рисунок 5 — Гидроаппараты ввертного монтажа

Например, двухлинейный регулятор расхода и давления (рисунок 6) позволяет одновременно редуцировать давление и ограничивать расход рабочей жидкости, поступающий в отдельные участки гидросистемы, что в ряде случаев исключает необходимость установки дополнительного насоса [8]. Во всем диапазоне рабочих режимов давление в линии *P* ограничивается значением, определяемым настройкой сервоклапана, а расход отводимого потока рабочей жидкости зависит от настройки дросселя. Разработаны также гидроклапан отсечки, двух- и трёхлинейные регуляторы расхода и клапаны компенсации.

Гидрозамок с интегрированными предохранительными клапанами ООО «Гидронт» позволяет исключить опасность разрушения гидроцилиндров и трубопроводов при расширении запертого объема рабочей жидкости после завершения эксплуатации мобильных машин при низких температурах и установке их в теплый бокс.

Наиболее интенсивное развитие получили гидроаппараты, связывающие электронные системы управления с исполнительными механизмами. А именно дросселирующие гидрораспределители и аппараты с пропорциональным электрическим управлением, особенно со встроенной системой контроля и управления. Фирмы *Rexroth*, *Parker Hannifin*, *Moog* и другие разработали промежуточные аппараты между указанными выше типами, а именно аппараты с пропорциональным электрическим управлением, имеющими золотник с нулевым перекрытием и возможностью установки дросселирующего гидрораспределителя в первом каскаде, что позволило на порядок улучшить их динамические характеристики [2]. Перспективным является развитие цифровой гидроаппаратуры, в которой в качестве задающих устройств используются миниатюрные шаговые двигатели [2].

Ряд ведущих фирм, производителей гидроаппаратуры, предлагает аппараты ввертного монтажа для создания гидроблоков. Система картриджных клапанов *CVS* фирмы *Parker*, в том числе объединенных в интегральные блоки, обеспечивает минимизацию гидролиний, повышение герметичности, компактность конструкции, упрощение сборки и обслуживания, а также оптимизацию схемных решений [8]. Арматура и вентили фирмы «Мониторинг вентиль» и

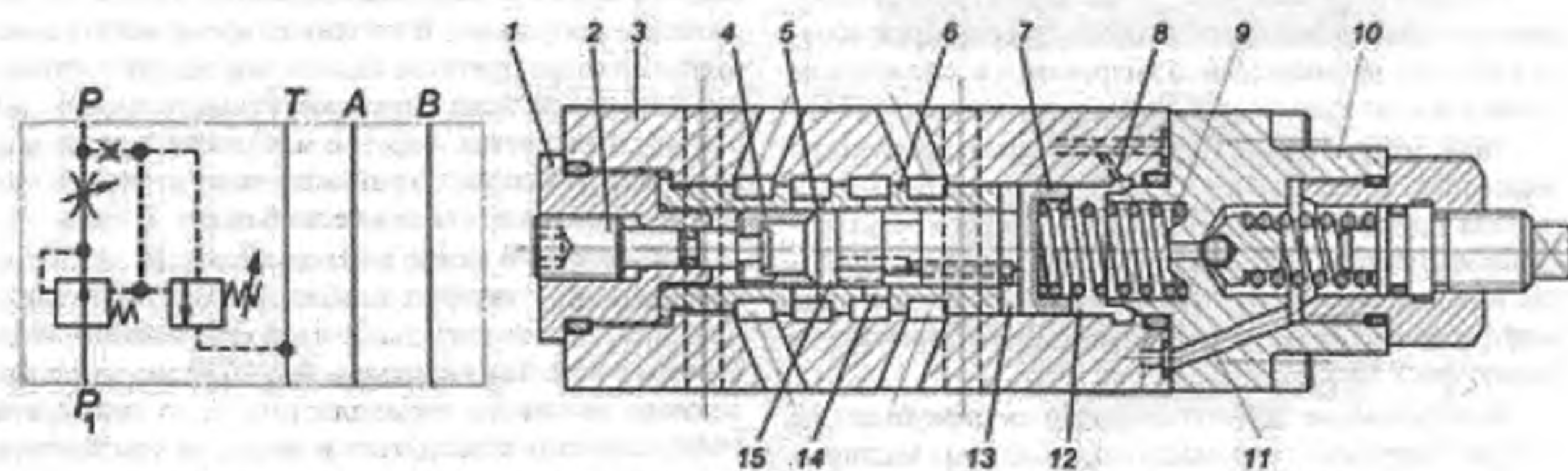


Рисунок 6 — Модульный двухлинейный регулятор расхода и давления ЭНИМС:
1 — втулка; 2 — винт регулирования расхода; 3 — корпус; 4 — втулка-дроссель;
5 — дросселирующая щель; 6 — гильза; 7 — золотник; 8 — демпфер; 9 — пружина;
10 — сервоклапан; 11 — канал; 12, 13, 15 — полости; 14 — отверстия

фитинг" работает на давлении до 1000 МПа. Так вентили с пневмоуправлением работают при давлении до 700 МПа, а шаровые краны — до 140 МПа [1].

Специальные блоки могут устанавливаться непосредственно на выходные линии насосов и содержать обратные и предохранительные клапаны, в том числе с возможностью электроразгрузки.

Электрогидравлика. Современной тенденцией в развитии систем электрогидроприводов является разработка мехатронных модулей и их компонентов. Они обеспечивают ускорение до 80 g, скорость до 10 м/с и частоту двойных ходов 3500 в минуту для силовых вибрационных механизмов. Управление такими электрогидравлическими приводами осуществляется пропорциональными распределителями, предохранительными и редукционными клапанами, регуляторами расхода. Привод оснащен насосом (в том числе с p/q -регулированием — одновременным управлением давлением и подачей), сервоцилиндром, датчиками и электронными устройствами управления.

Важным направлением развития гидроаппаратуры является создание взрывобезопасной электрогидравлики в основном для нефтяной, газовой или горнодобывающей промышленности, химического машиностроения и судостроения, а также гидрооборудования для работы на водной эмульсии HFA (95% воды) или чистой воде. Типичным представителем этого направления является изготовленный фирмой Atos из нержавеющей стали трехлинейный седельный гидрораспределитель с пропорциональным взрывобезопасным электроуправлением и дублирующим ручным [9].

Гибридные энергосберегающие электростатические приводы (ЕНА) фирмы Moog кроме авиации находят применение в машиностроительной, энергетической и нефтегазовой промышленности. Применение такого привода позволяет снизить на 40 % вес, уменьшить стоимость и износ, повысить надежность и полностью исключить загрязнение окружающей среды. Для уменьшения шума в компактных гидроагрегатах Hawe насосный агрегат расположен под уровнем рабочей жидкости в баке, а гидроаппаратура управления — на монтажных блоках расположенных снаружи, рисунок 7 [8].

Рассматривая тенденции развития объемного гидропривода, следует отметить, что современные разработки в области промышленной гидравлики в харьковском регионе достаточно подробно освещены в статье [14].

Энергосбережение. Перспективным направлением энергосбережения, наряду с известными, такими как установка аккумуляторов, замена дроссельного регулирования машинным и др. является частотное регулирование и использование различных способов рекуперации энергии за счет действия сил гравитации и торможение движущихся масс.

Использование замкнутых контуров циркуляции на базе регулируемых гидромашин в мобильных машинах, позволяет снизить энергетические потери, улучшить условия "холодного запуска", а также почти вдвое повысить допускаемую частоту вращения, соответственно — подачу.

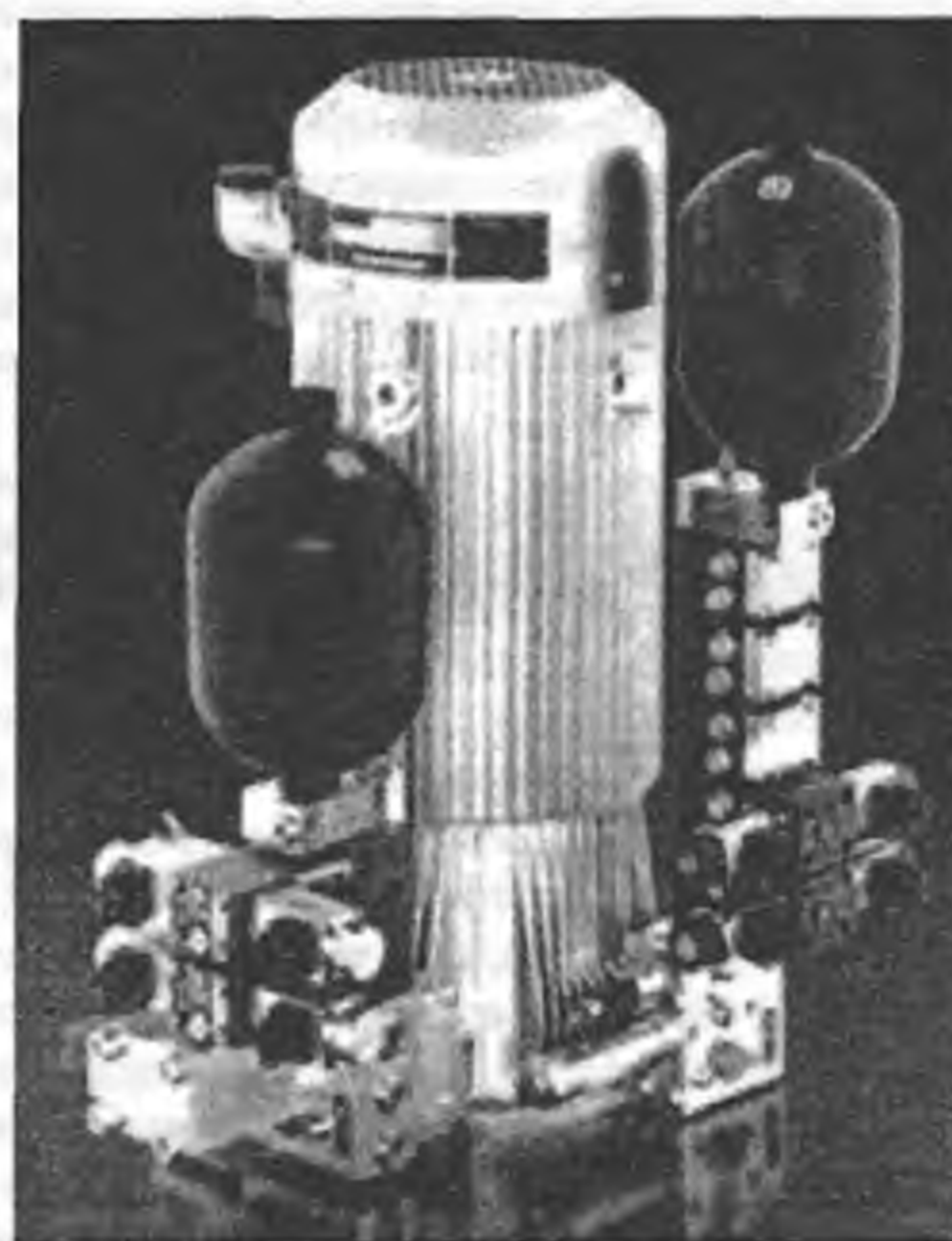


Рисунок 7 — Компактный модуль фирмы Hawe

Многочисленные примеры применения новейших систем пропорционального управления в мобильных машинах, которые упрощают их управление и улучшают условия работы, обеспечивают рекуперацию энергии и экономию топлива, приведены в статьях [8, 15].

Сопутствующие товары. Фирма KTR предлагает обширную программу узлов и деталей, из которых, как в детском конструкторе, могут собираться самые разнообразные насосные установки. При этом особое внимание уделяется средствам шумопоглощения (до 10 дБА) и охлаждения рабочей жидкости.

Уплотнения являются одним из важных компонентов объемных гидроприводов. Их эксплуатационные характеристики существенным образом влияют на КПД, скорость движения исполнительных механизмов, нагрев рабочей жидкости. Как отмечено в статье [16], утечки рабочей жидкости нарушают экологию, а в ряде случаев вообще недопустимы. В настоящее время, когда уровень давлений гидроагрегатов сильно возрос, для изготовления уплотнений используют различные полимеры, фторопласт, полиуретан и другие материалы, модуль упругости которых во много раз выше чем у резины, а коэффициент трения по стали в несколько раз меньше.

Особенно это важно в исполнительных механизмах гидросистем, у которых необходимо обеспечить высокие, до 9 м/с, относительные скорости уплотнительных поверхностей. Так использование уплотнения, изготовленного из нового термопластического полиуретана Р600, стойкого к экструзии и высоким температурам, который имеет хорошую химическую стойкость и малый коэффициент трения, позволило существенно увеличить КПД гидроагрегата [6]. Уплотнения фирм Busak-Shamban, Hansa Flex, Polypac, Parker, Merkel, ЭЛКОНТ

и ряда других, в зависимости от зазора между уплотняющими поверхностями, обеспечивают скорость скольжения до 10–15 м/с, при давлении рабочей жидкости 20–40 МПа [16]. Компанией ВИРА для производства уплотнений используется новейшая австрийская технология *Seal Master*, основанная на точении уплотнений на токарных станках с ЧПУ и 8-позиционной револьверной головкой, программное обеспечение которой позволяет быстро модифицировать профили уплотнений и осуществлять контроль их погрешностей [1].

Компанией *S.F.K Components* разработан новый материал для опорных колец самых разнообразных гидроцилиндров — *Krutex®* (жесткая ткань из хлопка, синтетического материала и полиэфира с обработкой специальными фенольными смолами в особых технологических процессах). Этот материал отличается высочайшей нагрузочной способностью и низким уровнем трения, не требует техобслуживания, устойчив к коррозии и стоек почти во всех средах.

Использование резиновых демпферов для виброизоляции элементов гидроприводов и запорно-регулирующих элементов гидроаппаратов по-прежнему остается одним из перспективных направлений увеличения работоспособности и надежности последних [17].

Техническое обслуживание

В области фильтрации рабочих жидкостей современной тенденцией является использование саморегенерирующихся полнопоточных гидродинамических фильтров с пневматическим или электромагнитным приводом для пульсации фильтроэлемента, разработанных в ДонГТУ [18]. Они позволяют обеспечить степень очистки в 15–20 мкм, при ячейке 70 мкм, и подавать на очистку жидкость 17-го класса чистоты по ГОСТ 17216 с частицами до 150 мкм. При этом отпадает необходимость в многокаскадных схемах, фильтры не нуждаются в очистке, исключается опасность их засорения, а благодаря крупной сетке требуемая площадь поверхности фильтроэлемента в 16 раз меньше, чем у механического статического фильтра равной производительности и равной тонкости фильтрации. Такие фильтры выпускаются на пропускную способность от 4 л/мин до 1000 м³/ч с тонкостью очистки до 0,025 мм для масел, воды, лаков, красок, топлив, эмульсий, смазочно-охлаждающих жидкостей, клеев и др.

Наиболее рациональным путем сокращения расхода рабочих жидкостей — регенерация их непосредственно в емкостях машины и замена только при капитальном ремонте. Это уменьшает затраты на добычу, переработку и транспортировку сырья и исключает сброс нефтепродуктов в окружающую среду. ДонГТУ на базе вращающегося полнопоточного гидродинамического фильтра была изготовлена установка для заправки и очистки жидкостей, успешно прошедшая промышленную проверку в Украине и Польше. Установка позволяет как регенерировать жидкость в ванне, так и заливать ее в систему при одновременной очистке. Имея производительность 15–80 л/мин и массу порядка 60 кг установка отделяет от жидкости частицы, превышающие 15 мкм, не требует сменных фильтроэлементов и в 15 раз дешевле аналогов.

Перспективным является использование в качестве рабочих жидкостей эмульсии, представляющей собой механическую смесь 1–2 % маслянистой или синтетической жидкости в обычной воде. Качество таких суспензий по смазывающим, антиокислительным, антибактериальным, антикоррозионным и другим свойствам не уступает минеральным маслам, а стоимость в 30–50 раз дешевле. Такие рабочие жидкости находят применение в гидрооборудовании, работающем на воде при давлении до 400 МПа [18].

Получение систем объемных гидроприводов высокого технического уровня невозможно без использования современного приборного обеспечения контроля, как параметров рабочей жидкости, так и степени ее загрязнения. Гамма разнообразных манометров фирмы *Wika* охватывает диапазон давлений до 400 МПа, реле давления до 800 МПа, электронные средства измерения температуры позволяют производить измерение в диапазоне 200–800°C, разработаны терморегуляторы для маслоохладителей. Фирма *Parker* разработала комбинированные датчики расхода с диапазоном измерений от 0,2 до 360 л/мин, которые дополнительно оснащены индикаторами давления и температуры ($p=35$ МПа; $t=180^\circ\text{C}$). Компактное программируемое реле давления *HEDE 10* фирмы *Bosch Rexroth*, 1 класса точности, содержит блок индикации и позволяет программировать гистерезис, замыкающий/размыкающий контакты, задержку срабатывания [15].

Для контроля частиц загрязнений применяются портативные или стационарные (в том числе и встроенные в гидросистему) счетчики, например *CS1000* фирмы *Hydac*, *OPCom* фирмы *Argo Hytos*, фирмы *Stauff*, *Laser-SCM* фирмы *Parker*. Данные приборы определяют класс чистоты рабочей жидкости по ISO 4406 и имеют один или несколько интерфейсов с ПК [15].



Рисунок 8 — Приборы контроля чистоты рабочей жидкости фирмы *Internormen*

Широко используются в современных системах гидроприводов датчики процентного содержания воды в масле и органических жидкостях. Датчики *HydacLab* и *Multisensor* фирмы *Hudac*, а также *IDK-Feuchtsensor* фирмы *Argo Hytos* позволяют измерять несколько параметров одним сенсором.

Одним из перспективных направлений в повышении технического уровня гидроприводов является грамотная организация их технического обслуживания и ремонта путем составления квалифицированной инструкции по эксплуатации. Например, инструкция по эксплуатации сложнейших гидрофицированных токарных автоматов фирмы *Churchill*, которая на 40 листах содержит детальнейшие указания по устранению отказов — в которой индексированы все точки установки контрольных манометров, электромагнитов, регулировочных средств и трубопроводов, позволяет быстро найти и устранить неисправность. Поиск неисправности сводится к тому, что при выходе из строя любого элемента необходимо установить манометр в определенную точку, включить электромагнит и если давление будет таким-то, регулировать или промыть такой-то гидроаппарат [19].

Выводы

На основании проведенного анализа научно-технической литературы установлено, что основными тенденциями развития систем объемных гидроприводов является:

- энергосбережение за счет повышения КПД гидромашин, оптимизации схемных решений, применение новейших систем пропорционального управления (в том числе непосредственно от ПК), установка аккумуляторов, замена дроссельного регулирования машинным, использование принципа частотного регулирования или насосно-аккумуляторного гидропривода, различных способов рекуперации энергии, разработка мехатронных модулей и их компонентов;
- повышение рабочего давления, использование мультипликаторов давления, снижение габаритов и металлоемкости при одновременном росте удельных мощностей;
- расширение номенклатуры, в основном, в сторону миниатюризации, для создания гидроблоков, использование аппаратов ввертного монтажа и картриджных клапанов, применение аппаратов с пропорциональным электрическим управлением со встроенной системой контроля и управления, разработка оригинальных гидроаппаратов для выполнения уникальных функций;
- снижение уровня шума и вибрации за счет совершенствования конструктивных решений, обеспечивающих оптимальное протекание рабочих процессов;
- использование в качестве рабочих жидкостей эмульсии, основой которой является обычная вода и новых технологий при изготовлении гидравлических компонентов;
- грамотная организация технического обслуживания и ремонта путем составления квалифицированной инструкции по эксплуатации, диагностики гидросистем, регенерации рабочих жидкостей непосредственно в емкостях

машины и использовании для ее очистки саморегенерирующихся полнопоточных гидродинамических фильтров.

Литература

1. Свешников, В.К. Где настоящее встречается с будущим. Выставка "Интердрайв-2012" глазами эксперта / В.К. Свешников: электронный ресурс // режим доступа: <http://www.konstruktor.net/podrobnec-elekt/items>
2. Свешников, В.К. Состояние и перспективы развития гидрооборудования стационарных машин / В.К. Свешников // Мир Техники и Технологий. — Харьков: Промінь, 2005. — № 11(48). — С. 18—22.
3. Кулешков, Ю.В. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен (теория, конструкция и расчет) / Ю.В. Кулешков, М.И. Черновол, О.В. Бевз, Ю.А. Титов. — Кировоград: КОД, 2009. — 257 с.
4. Крутиков, Г.А. Системи гідроприводів: навч. посіб. / Г.А. Крутиков, М.Г. Стрижак, за ред. Крутикова Г.А. — Х.: НТУ "ХПІ", 2013. — 176 с.
5. Аврунін, Г.А. Основи об'ємного гідроприводу і гідропневмоавтоматики: навч. посіб. / Г.А. Аврунін, І.Г. Кириченко, І.І. Мороз. Під ред. Г.А. Авруніна. — Х.: ХНАДУ, 2009. — 424 с.
6. Андренко, П.М., Поліпшення енергетичних характеристик об'ємних гідроагрегатів / П.М. Андренко, А.Ю. Лебедев // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. — Чернігів: ЧДТУ, 2011. — № 2 (49). — С. 98—101.
7. Зайончковський, Г.Й. Порівняльний аналіз динамічних властивостей гідромеханічних слідкуючих рульових приводів різних кінематичних схем / Г.Й. Зайончковський // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці". 21—24 травня 2013 р.: матеріали конференції — К.: Допомога, 2013. — С. 87—88.
8. Свешников, В.К. Развитие гидропривода: итоги 2011 г. / В.К. Свешников: электронный ресурс // режим доступа: <http://neftegaz.ru/analysis/view>
9. Свешников, В.К. Гидравлика на выставке ITFM / В.К. Свешников // Торговая площадка. Пульс цен. Екатеринбург, 18.11.2010. электронный адрес price@pulsцен.ru
10. Лурье, З.Я. Проектирование шестеренных насосов внутреннего зацепления с высоким техническим уровнем / З.Я. Лурье, А.И. Гасюк // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці". Київ 21—24 травня 2013 р.: матеріали конференції — К.: Допомога, 2013. — С. 117—118.
11. Лебедев, А.Ю. Визначення нерівномірності подачі лабіринтно-гвинтового насоса. / А.Ю. Лебедев, П.М. Андренко // Промислова гідравліка і пневматика. — 2012 — №3 (37). — С. 33—37.
12. Финкельштейн, З.Л. Тенденции развития высокомоментных гидромоторов / З.Л. Финкельштейн // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці". Київ 21—24 травня 2013 р.: матеріали конференції — К.: Допомога, 2013. — С. 111—112.

13. Финкельштейн, З.Л. Малогабаритные высокомоментные планетарные гидромоторы с плавающими сателлитами / З.Л. Финкельштейн, А.П. Палух // Промислова гідравліка і пневматика. — 2013. — №1(39). — С. 16 — 20.

14. Аврунин, Г.А. Состояние промышленной гидравлики и пневматики в харьковском регионе / Г.А. Аврунин, З.Я. Лурье, П.Н. Андренко, И.Г. Лищенко // Промислова гідравліка і пневматика. — 2008. — №3 (21). — С. 3 — 8.

15. Свешников, В.К. Новейшие гидроприводы стационарных машин / В.К. Свешников // Гидравлика & Пневматика, 2005. — № 20. — С. 3—11. : электронный ресурс // режим доступа: www.hap.ru

16. Дмитриев, Ю.В. О влиянии гидравлических уплотнений на надежность гидропривода / Ю.В. Дмитриев // Гидравлика, пневматика, приводы, 2010. — № 2(4). — С. 17—19.

17. Барилук, Е.И. Практическая реализация повышения работоспособности запорного узла клапана с применением демпфирующих устройств / Е.И. Барилук // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці". Київ 21–24 травня 2013: матеріали конференції — К., 2013. — С. 70—71.

18. Финкельштейн, З.Л. Эксплуатация гидравлического оборудования : учеб. пособ. / З.Л. Финкельштейн. — Алчевск: ДонГТУ, 2008. — 123 с.

19. Свешников, В.К. Основные пути повышения надежности гидроприводов. / В.К. Свешников, А.Ю. Иванов, Ю.В. Дмитриев // Гидравлика, пневматика, приводы, 2010. — № 1(3). — С. 4 — 7.

References

1. Sveshnikov, V.K. Gde nastoyashee vstrechaetsya s buduschim. Vystavka "Interdrayv-2012" glazami eksperta / V.K. Sveshnikov: elektronnyy resurs // rezhim dostupa: <http://www.konstruktor.net/pogrobnee-elekt/items>

2. Sveshnikov, V.K. Sostoyanie i perspektivy razvitiya gidrooborudovaniya statsionarnykh mashin / V.K. Sveshnikov // Mir Tekhniki i Tekhnologii. — H.: Promin', 2005. — № 11(48). — S. 18—22.

3. Kuleshkov, Y.V. Shesterennyye nasosy s asimmetrichnoy liniey zatsepleniya shesteren (teoriya, konstruktsiya i raschet) / Y.V. Kuleshkov, M.I. Chernovol, O.V. Bezv, Y.A. Titov. — Kirovograd: KOD, 2009. — 257 s.

4. Krutikov, G.A. Sistemi gidroprivodiv: navch. posib. / G.A. Krutikov, M.G. Strizhak, za red. Krutikova G.A. — H.: NTU "HPI", 2013. — 176 s.

5. Avrunin, G.A. Osnovi obiemnogo gidroprivodu i gidro pnevmomatiki: navch. posib. / G.A. Avrunin, I.G. Kirichenko, I.I. Moroz. Pid red. G.A. Avrunina. — H.: HNADU, 2009. — 424 s.

6. Andrenko, P.M., Polipshennyya energetichnykh harakteristik obiemnykh gidroagregativ / P.M. Andrenko, A.Y. Lebedev // Visnik Chernigivskogo Derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. — Chernigiv: ChDTU, 2011. — № 2 (49). — S. 98—101.

7. Zayonchkovskiy, G.Y. Porivnyalnyi analiz dinamichnykh vlastivostey gidromekhanichnykh slidkuyuchih rulovih privodiv

riznykh kinematichnykh shem / G.Y. Zayonchkovskiy // XVIII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya Hidroaeromechanika v inzhenerniy praktitsi. Kiyiv 21 — 24 travnya 2013 : materialy konferentsiyi — K.: Dopomoga, 2013. — S. 87—88.

8. Sveshnikov, V.K. Razvitie gidroprivoda: itogi 2011 g. / V.K. Sveshnikov : elektronnyy resurs // rezhim dostupa: <http://neftegaz.ru/analysis/view>

9. Sveshnikov, V.K. Gidravlika na vystavke ITFM / V.K. Sveshnikov // Torgovaya ploshchadka. Puls tsen. Ekaterenburg, 18.11.2010. elektronnyy adres price@pulscent.ru

10. Lur'e, Z.Y. Proektirovaniye shesterennykh nasosov vnutrennego zatsepleniya s vysokim tekhnicheskim urovnem / Z.Y. Lur'e, A.I. Gasyuk // XVIII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya "Gidroaeromechanika v inzhenerniy praktitsi". Kiyiv 21-24 travnya 2013: materialy konferentsiyi — K.: Dopomoga, 2013. — S. 117—118.

11. Lebedev A.Y. Vznachennyya nerivnomimosti podachi labirintno-gvintovogo nasosa. / A.Y. Lebedev, P.M. Andrenko // Promislova gidravlika i pnevmatika. — 2012. — №3 (37). — S. 33—37.

12. Finkelshteyn, Z.L. Tendentsii razvitiya vyisokomomentnykh gidromotorov / Z.L. Finkelshteyn // XVIII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya "Gidroaeromechanika v inzhenerniy praktitsi". Kiyiv 21-24 travnya 2013: materialy konferentsiyi — K.: Dopomoga, 2013. — S. 111—112.

13. Finkelshteyn, Z.L. Malogabaritnyye vyisokomomentnyye planetarnyye gidromotory s plavayuschimi satellitami / Z.L. Finkelshteyn, A.P. Palyuh // Promislova gidravlika i pnevmatika. — 2013. — №1(39). — S. 16—20.

14. Avrunin, G.A. Sostoyanie promyshlennoy gidravliki i pnevmatiki v harkovskom regione / G.A. Avrunin, Z.Y. Lur'e, P.N. Andrenko, I.G. Lischenko // Promislova gidravlika i pnevmatika. — 2008. — №3 (21). — S. 3—8.

15. Sveshnikov, V.K. Noveyshie gidroprivody statsionarnykh mashin / V.K. Sveshnikov // Gidravlika & Pnevmatika, 2005. — № 20. — S. 3—11: elektronnyy resurs // rezhim dostupa: www.hap.ru

16. Dmitrevich, Y.V. O vliyaniy gidravlicheskiy uplotneniy na nadezhnost gidroprivoda / Y.V. Dmitrevich // Gidravlika, pnevmatika, privody. — 2010. — № 2(4). — S. 17—19.

17. Barilyuk, E.I. Prakticheskaya realizatsiya povysheniya rabotosposobnosti zapornogo uzla klapana s premineniem dempfiruyuschiy ustroystv / E.I. Barilyuk // XVIII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya "Gidroaeromechanika v inzhenerniy praktitsi". Kiyiv 21—24 travnya 2013: materialy konferentsiyi — K.: Dopomoga, 2013. — S. 70—71.

18. Finkelshteyn, Z.L. Ekspluatatsiya gidravlicheskiy oborudovaniya: ucheb. posob. / Z.L. Finkelshteyn. — Alchevsk: DonGTU, 2008. — 123 s.

19. Sveshnikov, V.K. Osnovnyye puti povysheniya nadezhnosti gidroprivodov. / V.K. Sveshnikov, A.Y. Ivanov, Y.V. Dmitrevich // Gidravlika, pnevmatika, privody. — 2010. — № 1(3). — S. 4—7.

Надійшла 20.10. 2013 р.

УДК 62-82

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ОБ'ЄМНИХ
ГІДРОПРИВОДІВ

П.М. Андренко, З.Я. Лур'є

Проведено аналітичний огляд технічного рівня продукції яка випускається провідними світовими фірмами виробниками гідрообладнання для встановлення параметрів елементів та пристроїв об'ємного гідропривода, на які слід орієнтуватися проектантам нових машин. Встановлено, що стратегічним напрямом у розвитку об'ємного гідропривода і його компонентів є зниження їх габаритів та металоемності при одночасному зростанні питомих потужностей, причому перевагу слід надавати блочно-модульному принципу на основі мехатронних модулів руху.

Наведені основні технічні характеристики сучасних аксіально-поршневих, шестеренних і пластинчастих насосів. Описані особливості їх конструктивних рішень, які дозволяють підвищити технічний рівень. Розглянуто параметри і конструктивні особливості гідромоторів. Проаналізовано їх питомі масові показники та встановлено тенденції розвитку. Описано конструкції перспективних гідроциліндрів.

Досліджено, що сучасною тенденцією розвитку гідроапаратури є її мініатюризація, розширення номенклатури та поліпшення технічних параметрів, створення вибухобезпечної електрогідравліки, а також обладнання для роботи на водній емульсії, застосування апаратури вкрутного монтажу і створення оригінальних апаратів для здійснення заданих функцій. Показано, що найбільш інтенсивний розвиток отримали дроселюючі гідророзподільники та апарати з пропорційним електричним керуванням, особливо з вбудованою системою контролю і керування. Розглянуто питання, пов'язані з енергозбереженням, організацією технічного обслуговування і ремонту.

Ключові слова — об'ємний гідропривод, тенденції розвитку, гідрообладнання, насос, гідромотор, гідроапаратура, технічне обслуговування.

UDK 62-82

TREND DEVELOPMENT OF VOLUME
HYDRAULIC DRIVES

P.N. Andrenko, Z.Ya. Lurie

Purpose of the article is an analytical review of technical level of products which have been produced by world leading manufacturers of a hydro equipment with aim to set proper parameters of units and hydraulic power drive devices. It supports to engineers to develop new type of hydro equipment. It is established that the strategic direction in development of a volume hydraulic actuator and its components are to decrease their dimensions and steel intensity. It lets to increase a specific output of a volume hydraulic actuator simultaneously. Thus a choice should be given a block — module principle which is basis on movements of mechatronic modules.

The main technical characteristics of some modern axial pistons, some gear and vane pumps are given. Some features of their structure were described which allow to improve their technological level. Parameters and design features of hydro motors are considered. Their specific mass indicators are analyzed. The main tendencies of hydro motors development are set. A future — proof design of some hydraulic cylinders are described.

It is established that a current trend in development of the hydro equipment is its miniaturization, widening of the nomenclature and improvement of technical parameters, creation of explosion-proof electrohydraulic devices and the hydro equipment which uses any water emulsion, using of the equipment of screw installation and original devices for performance of a given functions. It is shown that some throttling hydro distributors, some devices with proportional electric control or with built-in control system have been developed intensively. Some issues according to the energy saving and devices maintenance are considered.

Key words — volume hydraulic, trend development, pumps, hydraulic motor, hydro equipment, maintenance.