многошаговых и тождественного воспроизведения на одношаговых скользящих режимах соответственно в условиях неопределённых величин чистого запаздывания, неопределённых потоков основных и оборотных фондов и в условиях известных величин чистого запаздывания и неопределённости только в потоке основных фондов.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта 18-48-160042.

1. Мещанов А.С., Севрюгин С.Ю., Зарипова А.Ф. Синтез скользящих режимов в системах с неопределёнными возмущениями и погрешностями в измерениях. *Авиационная техника*. 2014, №1 С. 47-53.
2. Мещанов А.С., Гатауллина Л.А., Туктаров Э.А. Синтез скользящих режимов при ограниченных неопределённых погрешностях измерений и возмущениях. *Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. Материалы V Международной научно-практической конференции.* г.Уфа, 15-16 декабря, 2018 г. С.50-64.
3. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Л.: Наука, 1985, 112 с.
4. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Официальное издание. М.: ИПК. Издательство стандартов, 2000, 46 с.
5. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применение в системах с переменной структурой. М. : Наука, 1974 - 275 с.
6. Катковник В.Я., Полужков В.А. Многомерные дискретные системы управления. М. : Наука, 1966, - 416 с.
7. Бонч - Бруевич А.М., Быков В.А., Чинаев А.И. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем. М.: Машиностроение, 1968, - 92 с.
8. Афанасьев В.А., Мещанов А.С., Сиразетдинов Т.К. Многошаговое терминальное управление системами при неопределённости с учётом ограничений. *Кибернетика и вычислительная техника*, 1987, вып. 73, с. 79 - 86.
9. Мещанов А.С. Разрывное управление манипуляторами летательного аппарата, *Изв.вузов. Авиационная техника*, № 3, с. 28 - 31.
10. Мещанов А.С. О приведении в скользящий режим многомерных разрывных систем с нелинейным нестационарным объектом. // *Устойчивость движения*. - Новосибирск, 1985, - с. 230 - 234.
11. Рафиков М.М., Сиразетдинов Т.К. К задаче агрегирования системы экономических объектов по конечной продукции производства. *Изв.вузов, Авиационная техника*, 1971, №1, с. 95 - 100.

Тащилин Л.Н.

Место гидро - и пневмоприводов в современной технике

*ВКА имени А.Ф. Можайского
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2020-03

idsp: sciencerussia-10-02-2020-03

Аннотация

В статье рассмотрены области применения, круг задач, решаемых с применением гидро - и пневмоприводов, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: гидропривод, пневмопривод, система управления, бесступенчатое регулирование, гидромотор, гидропневмоавтоматика, мехатронные модули.

Abstract

The article considers the scope of application, the range of tasks solved with the use of hydro - and pneumatic actuators, as well as their advantages and disadvantages.

Keywords: hydraulic drive, pneumatic drive, control system, stepless control, hydraulic motor, hydropneumoautomatics, mechatronic modules

Гидропривод на современном уровне широко применяется в машиностроении и стал неотъемлемой составной частью современных мобильных машин и промышленного оборудования. Гидропривод динамично развивается в различных отраслях машиностроения, как по количественным показателям, так и в части повышения технического уровня. Следует отметить, что современный этап развития гидропривода характеризуется, прежде всего, массовостью его производства во многих странах мира, автоматизацией производственных процессов, гидрофицированностью 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 снижением металлоемкости гидромашин и гидроаппаратов [1].

Гидравлика, как прикладная наука, и соответственно гидропривод применяется для решения различных инженерных задач в сфере:

- водоснабжения и водоотведения (канализации);
- транспортировки веществ по трубопроводу: газ, нефть и т.п.;
- строительства различных гидротехнических сооружений, водозаборных построек;
- конструирования различных устройств, машин, механизмов: насосов компрессоров; демпферов; амортизаторов; гидравлических прессов и др.;
- медицины.

Особенно большое значение гидроприводы приобретают в машиностроении, где приходится иметь дело с закрытыми руслами (например, трубами) и напорными течениями в них, то есть с потоками без свободной поверхности с давлением, отличным от атмосферного.

Гидроприводы, оснащенные системами автоматического или ручного управления, широко используют в различных металлорежущих станках, роботах-манипуляторах, прокатных станах и прессах, на сухопутных транспортных машинах (колесных и гусеничных), в строительно-дорожных, подъемно-транспортных и сельскохозяйственных машинах, на летательных аппаратах (самолетах, вертолетах, ракетах) и т.п. (см. рис. 1).

Гидропривод дает возможность бесступенчатого регулирования скорости движения и частоты вращения приводного ДВС, максимального использования его мощности, повышения коэффициента полезного действия, улучшения эксплуатационных качеств машины [2]. Небольшая инерционность обеспечивает хорошие динамические свойства привода, позволяет сократить время рабочего цикла и повысить производительность машины. В гидроприводе высокомомментными гидромоторами передаточное число достигает 1000 и более, другими словами, открывается возможность реализации больших передаточных чисел для повышения эффективности работы оборудования.

В гидроприводах машин сельскохозяйственного назначения широко используются объемные гидроприводы. Это объясняется тем, что на выходных звеньях гидродвигателей (штоках поршней гидроцилиндров, валах гидромоторов) можно достичь значительных усилий или крутящих моментов, при этом скорость движения рабочей жидкости в объемных приводах небольшая (не превышает 10 м/с).

а - современный высокоточный токарный станок;
 б - гидравлический пресс с П-образной станиной;
 в - военно-транспортный самолет Ан-178;
 г - одноковшовый экскаватор Caterpillar;
 д - автомобильный кран Grove;
 е - зерноуборочный комбайн John Deere;

ж - автомобильная вышка на базе MAN;
 з - легковой автомобиль;
 и - газораспределительная станция;
 л - гидротурбина;
 м - плотина;
 н - медицинские приборы и оборудование.

Рис. 1. Примеры использования гидравлических приводов

Независимое расположение сборочных единиц гидропривода позволяет оптимально разместить их в машине. Клапаны предохранительные, переливные, разгрузочные, разницы давлений, тормозные, а также блоки клапанов надежно предохраняют от перегрузок приводного двигателя, гидросистемы, металлоконструкций и рабочих органов. Это одно из наиболее важных свойств объемного гидропривода.

Компоненты гидропривода компактные, у них небольшая масса благодаря отсутствию в машине с гидроприводом таких традиционно применяемых деталей и механических узлов, как зубчатые и цепные редукторы, муфты, тормоза, барабаны лебедок, полиспастные блоки, канаты и другие быстро изнашивающиеся детали, требующие регулярного технического обслуживания.

В современном гидроприводе источником энергии, создающим движение рабочей жидкости (РЖ) являются насосы, которые приводятся в действие ДВС (преимущественно в мобильных машинах) или от электродвигателя (в стационарных промышленных установках). В зависимости от циркуляции РЖ гидравлические схемы подразделяются на разомкнутые и замкнутые [3].

К преимуществам гидропривода с замкнутым потоком относятся:

- значительно меньший объем РР, так как потребность в ней определяется рабочими объемами гидромоторов, а размеры бака выбирают исходя из подачи насоса в систему подпитки, что компенсирует объемные потери насоса и гидромотора;
- избыточное давление на входе в насос обеспечивает его работу при максимальной частоте вращения, что позволяет применить насос меньшего рабочего объема (меньших типоразмеров, массы и стоимости) и использовать объемный гидропривод в условиях холодного климата на масле МГ-15В. Кроме того, избыточное давление на входе в основной насос позволяет запускать в работу машину при температуре масла МГ-15В ниже - 40 °С без разогрева РР;
- отсутствует контакт РР с окружающей средой, что исключает загрязнение гидросистемы, увеличивает ресурс гидропривода и периодичность замены рабочей жидкости;
- регулируемые реверсивные аксиально-поршневые насосы гидроприводов с замкнутым потоком позволяют изменять направление вращения вала гидромотора без золотниковых распределителей, обычно используемых для этой цели в гидроприводах с разомкнутым потоком, и за счет этого – повысить КПД гидропривода.

Наряду с широким применением в машиностроении гидравлических приводов все большее распространение получают пневматические приводы, которые используют в качестве энергоносителей энергии сжатого воздуха или газа.

В зависимости от вида технологической нагрузки пневматические приводы можно разделить на две группы: приводы с силовой нагрузкой (внешняя нагрузка определяется технологическим процессом – в основном, это приводы малой грузоподъемности (до 5 кг) или с замкнутой кинематической цепью) и приводы с инерционной нагрузкой (сила технологического сопротивления перемещению штока равна нулю, а сводная сила трения гораздо меньше силы инерции, возникающей при движении рабочего органа – приводы большой грузоподъемности с разомкнутой кинематической цепью).

К пневмоприводам с инерционными нагрузками, в первую очередь, следует отнести приводы линейного перемещения захвата руки промышленных роботов, а также механизмы поворота и подъема. В основном, это разомкнутые кинематические цепи, в конечной точке которых сосредоточена масса, подлежащая манипулированию.

В настоящее время пневматические приводы широко и эффективно используются в оборудовании для групповой упаковки в основном потому, что при несложной конструкции можно обеспечивать линейное перемещение рабочих органов. Они, как правило, выполняют позиционирование рабочих органов в двух крайних точках, определенных упорами. Система управления такими приводами является циклической и обеспечивается дискретным сигналом [4]. Движение рабочих органов от начальной до конечной точки с помощью пневмопривода осуществляется как правило без контроля траектории между ними. Развитие микропроцессорной техники и растущие требования к функциональности пневмопривода привели к разработке и использованию следующего поколения пневмоприводов – следящих. Комплексные решения конструкций следящих пневмоприводов предлагают всемирно известные производители пневматической техники, компании «Festo», «Camozzi», «SMC» и др.

Принцип действия таких приводов заключается в непрерывном сравнении входного управляющего сигнала перемещения с исходным исполнительным приводом или механически с ним связанным рабочим органом. В известных конструкциях

приводов используется контурное управление специальной следящей системой, которая воспроизводит регулируемую величину с разной степенью точности в соответствии с приложенным управляющим воздействием.

Подобный принцип работы характерен для систем автоматического регулирования. Сочетание таких систем с пневмоприводом дает возможность расширить его функциональные свойства, например, реализовать перемещение рабочих органов по предварительно заданным законам движения, выполнить контроль качества процесса с помощью различных обратных связей. Анализ конструкций и схем следящего пневмопривода позволяет сделать вывод о его конструкциях как о сложной динамической системе, которая состоит из механических, пневматических, электрических, информационно-измерительных и микропроцессорных элементов.

Энергия сжатых жидкости и воздуха находит применение в самых различных областях техники. Гидро - и пневмоприводы являются основой гидропневмоавтоматики – комплекса технических средств для построения систем автоматического управления, в которых информация представляется и передается в виде гидро- и пневмосигналов (перепадов давления или расхода жидкости и газа (воздуха) соответственно). Гидропневмоавтоматика имеет важное значение в вопросах автоматизации производственных и технологических процессов во многих сферах с целью повышения производительности и улучшения условий труда. Перспективным является ее использование в сочетании с электрической или электронной управляющей частью (см. рис. 2).

Гидравлические и пневматические приводы хорошо сочетаются с цифровыми управляющими вычислительными машинами. Сочетание цифровых вычислительных машин с гидравлическими и пневматическими приводами дает возможность создавать недорогие, надежные и экономичные системы автоматического управления с широким диапазоном регулирования скорости движения, числа позиций при заданной дискретности позиционирования выходного звена.

погрузка, разгрузка и размещение в оптимальное положение изделия для дальнейшей механической обработки с шести сторон

универсальный робот позиционирует деталь для двух сварочных роботов, которые затем выполняют операцию сварки

Рис. 2. Промышленные роботы KUKA

В соответствии с общими принципами управления технологическими процессами, автоматическое управление осуществляется на основе информации, получаемой от различных средств автоматики (датчики, реле и т.д.). Гидропневмоавтоматика играет значительную роль в автоматизации различных

технологических процессов при сборке, сортировке, упаковке, клеймении, штамповке изделий.

Системы автоматики, в зависимости от выполняемых функций, делятся на автоматические системы контроля, управления и регулирования.

Технические средства автоматики служат для получения, передачи, преобразования и хранения контрольной информации, формирования и передачи контрольной информации, использования ее для воздействия на управляемый процесс. Электрические устройства выполняют в системах управления функции генерации и обработки сигналов.

Пневматические устройства выполняют различные задачи, связанные с поступательной или вращательной передачей нагрузки, а именно: зажим, перемещение, позиционирование, ориентация.

Несмотря на чрезвычайно большую совокупность различных установок, автоматических линий, построенных на основе пневмоавтоматики, все они могут рассматриваться как совокупность трех отдельных частей или блоков. Они содержат в себе выходные устройства, элементы для обработки сигналов и входные элементы, обеспечивающие ввод сигналов и обратную связь. В терминах аппаратного обеспечения это означает, что для передачи сигналов должны существовать входные, процессорные, руководящие и исполнительные устройства.

В автомобилях, автогрейдерах, одноковшовых погрузчиках, например, применяется пневматический привод тормозов, что объясняется его преимуществами перед гидроприводом:

- небольшие потери давления в пневмолинии, в результате чего их длина может достигнуть нескольких сот метров;
- сжатый воздух не образует горючих и взрывоопасных смесей, вследствие чего пневмопривод можно применить там, где есть повышенные требования к пожарной безопасности;
- сжатый воздух не загрязняет окружающей среды.

Вместе с тем пневмопривод имеет и некоторые недостатки:

- необходимо предусмотреть специальные системы смазки;
- высокая сжимаемость воздуха не обеспечивает без дополнительных мер плавности и точности движения выходного звена пневмопривода, если нагрузки нестабильные;
- вследствие больших утечек воздуха КПД пневмопривода меньше КПД гидропривода;
- при одинаковых габаритах пневмодвигатели имеют меньшую мощность, чем гидравлические двигатели, что можно объяснить небольшим давлением воздуха.

Задачи, которые могут выполняться роботами оснащенными гидропневмоавтоматикой, включают в себя:

1. Простое перемещение:
 - а) загрузки / разгрузки станков;
 - б) манипулирование деталями (упаковка, сортировка, транспортировка и ориентация);
 - в) размещение в паллетах.
2. Перемещение и обработка:
 - а) точечная сварка;
 - б) сварка сплошным швом;
 - в) составление механических и электрических деталей;
 - г) составление электронных деталей;

- д) окраска распылением;
- е) укладка кабеля;
- ж) резка.

3. Перемещение и контроль (подразделение категории деталей при загрузке/разгрузке в соответствии с типами станков выполняемых операций):

- а) станки для удаления заусенцев, сверлильные, шлифовальные, для фрезерования;
- б) формирование пластмасс и инъекционного литья;
- в) литья под давлением;
- г) горячая ковка и листовая штамповка;
- д) загрузка / разгрузка печей;
- е) термообработка;
- ж) литейные цеха литья в песочные формы, в соответствии с выплавляемыми моделями.

Наиболее успешно роботы применяются на операциях: сварки, погрузки / разгрузки станков, литья и покраски.

Главным преимуществом гидравлических и пневмоприводов является принцип обратной связи, который позволяет осуществлять контроль качества регулирования по отклонению управляемого параметра от заданного. В идеальном, для пользователя, варианте система гидро - пневмопривода, получив на вход информацию о цели управления, будет выполнять с желаемыми показателями качества и точности заданное функциональное движение. Таким образом, система гидро - пневмопривода, по сути, имеет качества системы, которая само настраивается [4].

Перспективной тенденцией развития систем гидроприводов является использование систем, построенных с использованием модулей LS (load sensing - чувствительный к нагрузке) [5]. Такие системы содержат объемный насос с регулируемой подачей и имеют лучшие энергетические показатели.

Применение мехатронного подхода к созданию машин с гидро - пневмоприводом и компьютерным управлением определяет их основные преимущества по сравнению с традиционными средствами автоматизации [6]:

- относительно небольшую цену, благодаря большой степени интеграции, унификации и стандартизации всех элементов и интерфейсов;
- высокое качество реализации сложного и точного движения исполнительных механизмов, в результате применения методов интеллектуального управления;
- высокую надежность, долговечность и защищенность от возмущений;
- конструктивную компактность модулей (до миниатюризации в микромашину);
- улучшение массогабаритных и динамических характеристик машин вследствие упрощения кинематических и коммуникационных звеньев;
- возможность интегрирования функциональных модулей в сложные системы и комплексы под конкретные задачи заказчика.

Также перспективным направлением проектирования и производства промышленного оборудования с использованием гидро - пневмоприводов является внедрение блочно-модульного принципа. Для современных систем гидро - пневмопривода такими модулями являются мехатронные модули движения – синергетическая совокупность механических (гидромеханических, пневмомеханических), электротехнических, электронных компонентов, а также информационных и программных средств, реализующих достижение заданного управляемого движения.

Это позволяет проводить декомпозицию сложных систем гидро - пневмопривода, уменьшая количество степеней свободы, и в результате получить их иерархическую структуру. По результатам структурного синтеза представляется возможным упростить их схемную реализацию за счет минимизации внутренних обратных связей, которые можно получить из информационной модели, включить структуру объекта в процесс функционирования, использовать типовые модули при построении систем гидро - пневмопривода.

Таким образом, благодаря своим широким преимуществам гидравлические и пневматические приводы нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения в качестве исполнительных механизмов современных мехатронных модулей, систем управления производственными процессами, технологическими и мобильными машинами.

1. Посметьев В.И., Никонов В.О., Латышева М.А., Тульнов М.О. Оценка целесообразности использования многокамерного электрогидравлического насоса в гидроприводах строительно-дорожных и транспортных машин // Строительные и дорожные машины. - 2018. - №1. - С. 36-42.
2. Чан В.Х. Разработка системы управления процессом наложения давления в гидроприводе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. - 2018. - №7. - С. 143-146.
3. Жулай В.А., Устинов Ю.Ф., Муравьев В.А., Волков Н.М., Никитин С.А. Кинематическое исследование механизма подъема-опускания стрелы автомобильного крана с гидроприводом // Строительные и дорожные машины. - 2018. - №6. - С. 18-21.
4. Терентьева А.Д. Оценка влияния динамических характеристик на работу машинного агрегата с гидроприводом // Машиностроение и компьютерные технологии. - 2018. - №4. - С. 1-12.
5. Янюк Ю.В., Егоров Н.А. Проверка возможности модернизации системы управления гидроприводом прессов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2018. - №5. - С. 22-25.
6. Месропян А.В., Шарипов Р.Р. Моделирование реальных нагрузок на стенде испытания гидроприводов // Молодежный вестник Уфимского государственного технического университета. - 2018. - №1(18). - С. 73-75.