

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА

Введение. В исполнительных гидравлических механизмах и машинах с регулируемой скоростью рабочего хода применяют несколько различных типов устройств для управления расходом рабочей жидкости: дискретные гидрораспределители, а также различные устройства для плавной регулировки расхода — дросселирующие гидрораспределители (далее — ДГР), пропорциональные гидрораспределители (далее — ПГР) и гидрораспределители с шаговым электроприводом. Физические принципы действия этих устройств, способы управления ими, их стоимость и обеспечиваемые технические параметры систем управления могут сильно различаться в зависимости от их конструкции и принципа работы.

Основная часть. Дискретные (логические) гидрораспределители являются наиболее простыми и широко применяются в системах автоматики. Они обеспечивают только полное открытие либо закрытие каналов, что позволяет использовать их в большинстве позиционных и силовых гидроприводов. В сочетании с механическим дросселем такой распределитель может обеспечить требуемый расход и скорость движения исполнительного механизма с точностью 5...10 %. Однако в случае изменения расхода (например, из-за изменений давления или температуры рабочей жидкости) дискретный распределитель не даёт возможности плавно регулировать расход на небольшую величину. Регулировка средней величины расхода за определённый интервал времени всё же возможна, но для этого требуется достаточно частое включение и выключение распределителя (ШИМ-модуляция), что требует относительно большой скорости работы внешней управляющей системы.

Для плавного регулирования скорости исполнительного механизма или расхода применяют специальные типы гидрораспределителей ДГР, или электроуправляемые дроссели. Они различаются по числу каскадов усиления, типам электромеханического преобразователя, промежуточного усилителя, а также способу обратной связи между каскадами.

Дросселирующие гидрораспределители с электроуправлением являются наиболее сложными по конструкции, дорогостоящими и требовательными к качеству изготовления, но и наиболее совершенными по своим возможностям и совокупности параметров [1]. Типичная величина гистерезиса (нечувствительности) для таких устройств составляет 0,1...0,5 % от диапазона регулирования. Устройства такого типа обладают высоким быстродействием, точностью (гистерезисом) на уровне долей процента и очень большим ресурсом работы при относительно низких требованиях к чистоте фильтрации рабочей жидкости (поскольку первичный каскад усиления обычно не содержит трущихся деталей с малыми зазорами). Например, компания Moog предложила модель двухкаскадного ДГР-260 со струйной трубкой и дефлектором, который работает при чистоте фильтрации рабочей жидкости до 60 мкм и имеет ресурс работы 225 тыс. часов (25 лет непрерывной работы). Частота переключений $f_{90} = 250$ Гц при рабочем давлении 21 МПа. Однако стоимость таких устройств начинается с 4...5 тыс. р.

Гидроустройства с пропорциональным управлением содержат пропорциональный электромагнит, перемещение которого пропорционально току в катушке. Эти устройства, приближаясь функционально к ДГР, значительно проще по конструкции и дешевле. Однако по быстродействию, коэффициенту усиления, чувствительности и точности управления расходом они значительно уступают классическим ДГР. Это связано с недостаточными рабочими усилиями электромагнитов, в результате чего зона нечувствительности и гистерезис без датчиков обратной связи для таких устройств может достигать 10 % от всего диапазона регулирования, что делает невозможным их использование при малых расходах. Лучшие устройства этого класса имеют гистерезис 2...5 % без датчиков обратной связи и менее 1 % — с датчиками. Существуют также гибридные модели с датчиками обратной связи, а иногда с ДГР в первом каскаде.

Гистерезис в таких устройствах примерно на порядок больше, чем в полноценных ДГР. Время срабатывания также примерно в 5...10 раз больше и составляет 40...100 мс, в связи с чем их чаще применяют в системах с невысокими требованиями к точности и скорости регулирования. Основным их преимуществом является достаточно низкая цена, которая может составлять менее 1 тыс. р.

В последние 10 лет активизировались работы по созданию ДГР с прямым или следящим приводом золотника первого каскада от маломощных шаговых электродвигателей, который может осуществляться через зубчато-реечную или винтовую передачу. Эти устройства имеют очень высокую точность регулировки положения золотника и расхода (менее 10^{-3} от диапазона регулирования), т. е. на порядок лучше, чем у классических ДГР, и могут прецизионно регулировать расходы во всём диапазоне. Время полного открытия золотника на весь диапазон — порядка 100 мс, т. е. немного больше, чем у пропорциональных распределителей, однако время отклика при малых отклонениях, напротив, очень мало — порядка 10^{-3} с,

что позволяет эффективно их использовать в системах, где нужна очень высокая скорость и точность относительно малых изменений расхода, порядка нескольких процентов, в этом случае они будут не только точнее, но также и быстрее классических гидромеханических ДГР.

Ограничением для создания таких устройств является малая удельная мощность и относительно большие размеры шаговых электродвигателей. На сегодня наиболее компактные из промышленных электроуправляемых дросселей с шаговым электродвигателем имеют монтажную ширину 40 мм и время полного хода золотника 80...100 мс. Также ограничением к применению таких устройств является высокая частота сигналов, требуемая для прямого управления шаговым двигателем, в силу чего прямое управление ими с помощью промышленных ПЛК затруднено. При типичной длительности программного цикла ПЛК 100 мс для управления шаговым двигателем необходимо использование специализированных микросхем управления (драйверов), однако при этом теряется преимущество быстрого отклика ШД на управляющий сигнал.

Мы рассмотрим возможность применения различных типов гидрораспределителей для регулировки скорости хода штока гидроцилиндра в гидравлической системе испытательного стенда. Система содержит несколько гидроцилиндров, движение штоков которых осуществляется независимо, но должно быть согласовано по определённому закону (в частности, скорость движения должна быть равной). При этом допустимое отклонение положения любого штока от требуемого в любой момент времени не должно превышать 0,15 мм. Для измерения положения штоков на каждом из них имеются датчики линейного перемещения с дискретностью шага 0,15 мм. Управление всей системой осуществляется ПЛК Siemens S7/P300 или совместимым с ним, не имеется возможности заменить управляющее устройство более прогрессивным.

Требуется обеспечить точность совместного движения штоков не менее 0,15 мм при различных скоростях перемещения — от 20 до 200 мм в минуту (расход масла — от 2 до 20 л / мин соответственно).

При использовании одного канала дискретного распределителя для каждого гидроцилиндра (рисунок 1, а) можно обеспечить минимальное взаимное отклонение позиций штоков

$$\Delta L = \Delta V \cdot \Delta T,$$

где ΔL — разность положений штоков;

ΔV — разность их фактических скоростей;

ΔT — суммарная погрешность времени срабатывания распределителя (вызванная совокупностью разных причин: погрешностью датчиков, задержкой системы управления, задержкой срабатывания распределителя).

Можно организовать алгоритм управления таким образом, что дискретность шага датчиков и время открытия золотника распределителя практически не будут влиять на общую погрешность. В этом случае ΔT почти полностью определяется задержкой в системе управления $\Delta T_{упр}$.

При открытых золотниках разность скоростей штоков в основном будет определяться неточностью настройки механических дросселей на входе цилиндров и может составлять 5...10 % от максимальной скорости:

$$\Delta V_1 = 0,1 V_0.$$

Однако при закрытии одного из золотников один из цилиндров начнёт отставать с большей скоростью:

$$\Delta V_2 \approx V_0.$$

В результате за одно и то же время ΔT при закрытом золотнике распределителя будет накапливаться примерно в 10 раз большая разность положений штоков, чем при открытых золотниках. При длительности $\Delta T_{упр} = 0,15$ с и $V_0 = 3,3$ мм / с погрешность положения составит недопустимо большую величину — 0,5 мм.

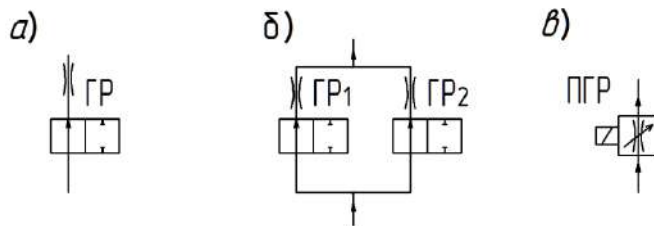


Рисунок 1 — Схемы включения гидрораспределителей

Возможно использование более сложной схемы (см. рисунок 1, б), с двумя параллельными каналами, каждый из которых включает дискретный распределитель и дроссель. В этом случае возможно дискретное переключение не от 0 до максимального расхода, а между четырьмя режимами скорости: 0, V_1 , V_2 , $V_1 + V_2$. При отношении $V_1 : V_2 = 1 : 10$ это позволяет получить в обоих режимах перемещений (20 и 200 мм / мин) одинаковую погрешность позиционирования, не более чем

$$\Delta L = V_1 \cdot \Delta T = 0,1 V_2 \cdot \Delta T_{\text{упр}} = 0,05 \text{ мм, т. е.}$$

на порядок меньшую, чем в первом случае, что является вполне удовлетворительным результатом.

При этом в быстром режиме перемещения не будет полных остановок механизма, скорость будет изменяться только в пределах (0,9...1,0) V_{max} , что повышает плавность хода, снижает вибрацию и улучшает общее качество работы машины. Стоимость регулирующих устройств для данного варианта равно в два раза больше, чем для первого.

Возможен также третий вариант — с ПГР (см. рисунок 1, в).

Здесь важен тип ГР (ПГР, ДГР) и его гистерезис (который определяет точность регулирования).

Были рассмотрены два варианта:

1. ПГР модели 1РП российского НПО «Технопривод» с гистерезисом 2 %. При максимальной скорости холостого хода 200 мм / мин это даст погрешность скорости

$$\Delta V = 0,02 V_{\text{max}} = 4 \text{ мм / мин} = 0,07 \text{ мм / с}$$

и, соответственно, погрешность положения (вызванную только задержкой управляющей системы)

$$\Delta L_{\text{упр}} = \Delta V \cdot \Delta T_{\text{упр}} = 0,01 \text{ мм.}$$

Фактически такая погрешность уже находится за пределами точности измерительных датчиков, и достигнутая точность является избыточной для данного случая. Однако стоимость регулирующих устройств для данного варианта примерно такая же, как и у предыдущего, поэтому он является оптимальным.

2. Был также рассмотрен вариант использования прецизионного ДГР с гистерезисом 0,1 %, но для данного случая такая точность регулирования явно избыточна, а стоимость этого варианта в 6 раз выше.

Сравним рассмотренные варианты по точности регулирования и стоимости (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Сравнение характеристик различных вариантов гидравлической схемы управления

Тип гидрораспределителя	Гистерезис, %	Погрешность положения штока, мм, (при заданной 0,15)	Стоимость гидрораспределителя, р.
Дискретный ГР	—	0,5	350
Два дискретных ГР	—	0,05	700
ПГР модели 1РП	2	0,01	650
ДГР модели 4WREE6	0,1	(вне предела точности измерений)	4 500

Заключение. Для решения задачи повышения точности и плавности согласованного хода нескольких гидроцилиндров был выбран оптимальный вариант системы гидрораспределительных устройств. За рамками данной статьи был проведён анализ рентабельности улучшения установки, который показал высокую экономическую эффективность выбранного решения.

Список цитируемых источников

1. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников ; 4-е изд. перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 2004. — 512 с. : ил.