

$t_n = 0$  и отношение  $u_k / u_{k-1} = 0$ .

### Литература

1. Тракторы. Конструкция/ В.М. Шарипов, Л.Х. Арустамов, К.И. Городецкий и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.
2. Львовский К.Я. Исследование процессов переключения передач под нагрузкой в тракторных трансмиссиях: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1970. – 276 с.
3. Работа сцепления в коробке передач при переключении передач без разрыва потока мощности от двигателя. / В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Зенин, Я.В. Савкин // Справочник. Инженерный журнал, 2010, № 11. с. 8-15.
4. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 122 с.
5. Математическая модель процесса переключения передач с помощью фрикционных муфт/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (13), 2012. - с. 112-121.
6. Переключение передач в КП трактора без разрыва потока мощности/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Тракторы и сельхозмашины, 2012, № 5. - с. 19-23.
7. Ананьин А. Д. Исследование энергонагруженности муфты сцепления колесного трактора при трогании скоростного машинно-тракторного агрегата: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1972. – 156 с.
8. Чунихин В.И. Исследование долговечности пар трения тракторных муфт сцепления и некоторых путей её повышения: Дисс...канд. техн. наук. - М., 1977. - 204 с.
9. Петренко В.А. Исследование режимов работы муфт сцепления тракторов высокой энергонагруженности: Дисс... канд. техн. наук. – Харьков, 1973. – 181 с.
10. Захаров В.Е. Исследование нагруженности, износа деталей и уточнение методов стендовых испытаний муфт сцепления тракторов: Дисс...канд. техн. наук. – М., 1981. – 210 с.
11. Оценка работы трения фрикционной муфты в гидромеханической и механической трансмиссиях пахотного колёсного трактора класса 3 при трогании. / Е.М. Шапиро, В.М. Иванов, Л.П. Соколов и др. // Тракторы и сельхозмашины, 1979, № 8. – с. 12, 13.

### **Электрогидравлические аппараты для управления фрикционными механизмами трансмиссий**

д.т.н. проф. Шипилевский Г.Б., Строков А.М.  
Университет машиностроения  
gbship@mail.ru

*Аннотация.* Электрогидравлические аппараты широко применяются для управления фрикционными механизмами трансмиссий, содержащими многодисковые «мокрые» муфты или тормоза. В зависимости от назначения и условий включения механизмов применяются аппараты либо релейного, либо пропорционального действия. В последних применяются электромагниты пропорционального действия, в которых при определённом зазоре между якорем и сердечником усилие притяжения между ними зависит только от величины тока через обмотку. По устройству и принципу действия такие аппараты могут быть прямого действия или с серводействием.

*Ключевые слова:* фрикционные механизмы, многодисковые муфты, электрогидравлические аппараты, электромагниты, пропорциональное действие

В трансмиссиях машин широко применяются фрикционные механизмы для включения и выключения различных приводов. Часто они представляют собой многодисковые муфты или тормоза, работающие в масле (мокрые) и сжимаемые при включении давлением рабочей жидкости гидросистемы трансмиссии, действующим на поршень цилиндра (бустера). Управ-

ление включением и выключением этих механизмов всё чаще производится электрогидравлическими аппаратами, что даёт возможность упрощения передачи команд управления и применения современной автоматики. Конструкции и способы действия таких аппаратов различны, и конкретный выбор зависит от требований к протеканию процессов включения и выключения, которые, в свою очередь, определяются назначением управляемого механизма и его состоянием перед включением.

Однако нужно отметить, что устройство и принципы действия таких аппаратов практически никак не описаны в имеющихся учебниках и учебных пособиях по конструкции автомобилей и тракторов. Имеющиеся проспекты производителей также не информативны в этом смысле. Предлагаемая статья рассчитана на ликвидацию этого пробела.

Сразу отметим, что все электрогидравлические аппараты управления отличаются наличием в них двух основных частей. Первой является электромагнит, в котором при пропускании тока через обмотку подвижный якорь притягивается к неподвижному сердечнику, развивая при этом определённое усилие. Второй является золотниковое или клапанное устройство, подвижная часть которого перемещается под действием якоря электромагнита, открывая или закрывая каналы (хода) для прохода потоков рабочей жидкости. Характер взаимодействия этих частей и определяет тип и действие аппарата.

Далее укажем, что гидросистемы трансмиссий в основном работают в режиме постоянного давления в нагнетательной магистрали. Для этого используются главным образом регулируемые насосы и перепускные или подпорные клапаны. Давления рабочей жидкости в нагнетательных магистралях могут составлять от 1 до 3 МПа.

Управление электрогидравлическими аппаратами производится посредством электронных устройств. При этом оно может быть как ручным, так и автоматическим, реализованным через программное обеспечение микропроцессорного блока управления.

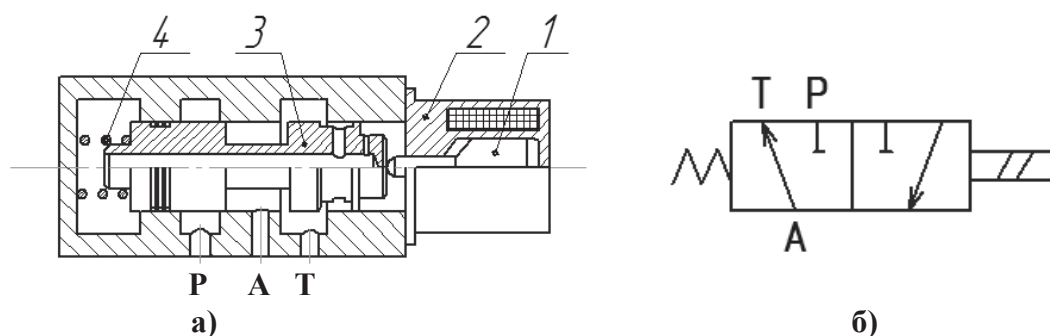
Первыми рассмотрим механизмы, в которых разница частот вращения частей перед включением относительно невелика. Такие механизмы используются для блокировок дифференциалов или включения полного привода в колёсных машинах. Обычно их включение производится перед переходом на такой режим движения, в котором потребуются усиленные тягово-сцепные свойства, так что разница частот вращения, которая может быть вызвана буксованием одного борта или одной оси, несущественна.

Эти механизмы можно включать скачкообразным увеличением давления, сжимающего диски механизма, от нуля до полного рабочего давления гидросистемы. С этой целью используются аппараты релейного действия «включён-выключен», обычно представляющие собой двухпозиционные трёхходовые распределители золотникового типа. Схематическое изображение устройства такого распределителя и его условное изображение для гидравлических схем показаны на рисунке 1 (на этом рисунке и далее: Р – нагнетательная магистраль, Т – сливная магистраль, А – выход к бустеру).

Якорь электромагнита 1 при скачкообразной подаче напряжения на обмотку притягивается к сердечнику 2 и перемещает золотник 3, преодолевая сопротивление пружины 4. При этом выход к бустеру отсоединяется от сливной магистрали и соединяется с магистралью нагнетательной. Давление в бустере повышается и механизм включается. Для выключения подача напряжения на обмотку прекращается, якорь перестаёт притягиваться к сердечнику, и золотник под действием пружины возвращается в исходное положение, соединяя выход к бустеру со сливной магистралью и отсекая его от магистрали нагнетательной.

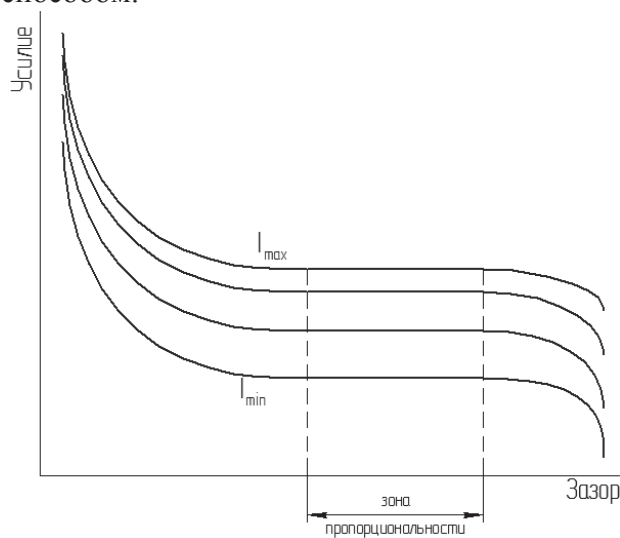
Другой тип механизмов требует плавного включения, т.е. постепенного увеличения давления в бустере. В этих механизмах разница частот вращения частей перед включением может быть довольно значительной. Такие механизмы используются для управления троганием и разгоном машины или для включения некоторых приводов, например привода независимого ВОМ на тракторах, а также для переключения передач на тракторах на ходу под нагрузкой без разрыва потока мощности (здесь требуется и плавное выключение). Управляющий таким механизмом аппарат должен обеспечивать регулирование давления в бустере во всём диапазоне от нуля до максимального (оно может быть меньше давления в нагнета-

тельной магистрали гидросистемы). Такими аппаратами служат электроуправляемые пропорциональные редукционные клапаны, которые могут иметь два различных типа исполнения.



**Рисунок 1. Двухходовой трёхпозиционный распределитель: а) устройство (1- якорь, 2- сердечник, 3- золотник, 4 – возвратная пружина); б) условное обозначение в гидравлических схемах**

Общим в них является использование электромагнитов пропорционального действия. Они отличаются тем, что их характеристики зависимости усилия притяжения якоря к сердечнику от зазора между ними при одном и том же токе через обмотку (тяговые характеристики) имеют участок, на котором изменения усилия не происходит (рисунок 2). Если электромагнит состыкован с регулирующим элементом аппарата так, что зазор между якорем и сердечником попадает именно на этот участок, развиваемое усилие становится зависящим только от величины тока, что позволяет, изменяя ток, регулировать давление на выход к бустеру одним или другим способом.

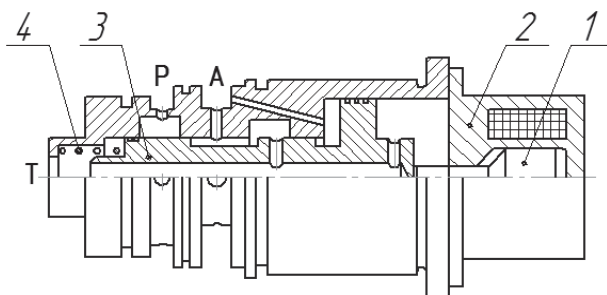


**Рисунок 2. Типичная тяговая характеристика пропорционального электромагнита**

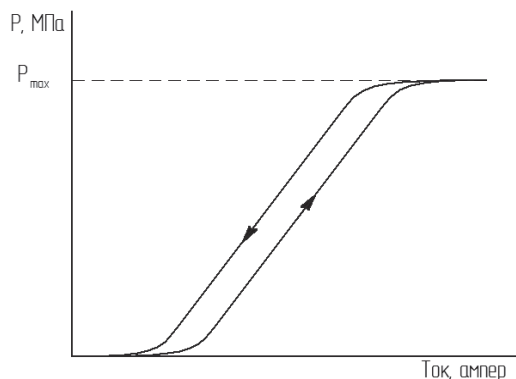
Первый тип можно назвать клапаном прямого действия. Его устройство показано на рисунке 3. Якорь 1 притягивается к сердечнику 2 и действует непосредственно на золотник 3, который может действовать на связь выхода в бустер с магистралями гидросистемы, аналогично показанному на рисунке 1. Однако отличием этого золотника является сопряжение с корпусом по двум соосным цилиндрическим поверхностям разного диаметра, благодаря чему появляется полость, соединённая с выходом в бустер. В этой полости давление выхода действует на кольцевую площадь, создавая усилие, противодействующее усилию притяжения якоря электромагнита к сердечнику. Имеется также возвратная пружина 4.

При подаче увеличивающегося напряжения на обмотку электромагнита усилие притяжения якоря возрастает, однако смещение золотника начинается только после того, как это усилие преодолет усилие возвратной пружины. Дальше смещение золотника частично перекрывает связь выхода со сливной магистралью и частично же открывает связь выхода с нагнетательной магистралью. На выходе появляется давление, которое действует на кольце-

вую площадь золотника, уравнивая усилие якоря. При дальнейшем росте напряжения и тока усилие якоря и смещение золотника также растут, соответственно увеличивая давление на выходе до максимального уровня. Если напряжение и ток растут плавно, рост давления также будет плавным. В результате аппарат будет обеспечивать зависимость между током через обмотку и давлением на выходе, вид которой показан на рисунке 4. При плавном снижении тока вид зависимости будет несколько иным в связи с гистерезисом, который связан с неизбежным трением золотника в корпусе.



**Рисунок 3. Клапан прямого действия:**  
1 – якорь, 2 – сердечник, 3 – золотник,  
4 – возвратная пружина



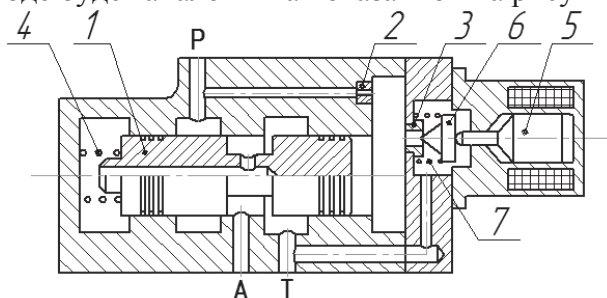
**Рисунок 4. Типичная характеристика пропорционального редукционного клапана**

Аппараты такого типа производят различные фирмы, из которых можно отметить «Бош-Рексрот» (ФРГ), «Паркер» (США), «Стерлинг Хайдроликс» (Англия). Они конструктивно просты, однако технология их изготовления довольно сложна. Это связано с необходимостью обеспечить прецизионное сопряжение (с радиальным зазором порядка нескольких микрометров) по двум соосным цилиндрическим поверхностям. Изменение характеристики, например, в сторону увеличения максимального давления на выходе невозможно, так как требует изменить размеры золотника и корпуса. Кроме того, они весьма чувствительны к загрязнениям рабочей жидкости, способным увеличить трение между золотником и корпусом, так как золотник перемещается только под действием усилия притяжения якоря к сердечнику. А фрикционные механизмы, особенно с металлокерамическими накладками дисков, способны загрязнять рабочую жидкость высокодисперсными продуктами износа, которые очень трудно отфильтровать.

Другой тип аппаратов можно назвать клапанами с серводействием. Их устройство показано на рисунке 5. Золотник 1 в принципе аналогичен золотнику распределителя, показанного на рисунке 1, в смысле воздействия на связи выхода с нагнетательной и сливной магистралями. Однако у него нет контакта с якорем электромагнита, и его торец со стороны электромагнита выходит в полость, которая через дроссельное отверстие (жиклёр) 2 связана с нагнетательной магистралью, а через седло конического клапана 3 со сливной магистралью. Противоположный торец золотника с возвратной пружиной 4 выходит в полость, соединённую с выходом. Якорь электромагнита 5 взаимодействует с подвижной частью 6 конического клапана, которая также имеет возвратную пружину 7.

Если тока в обмотке электромагнита нет, седло клапана 3 открыто, и давление в полости перед ним практически равно давлению в сливной магистрали, близкому к нулю. Золотник находится в исходном положении, давление на выходе равно нулю, механизм выключен. Когда через обмотку начинает проходить ток, притяжение якоря к сердечнику преодолевает сопротивление пружины 7 и начинает закрывать клапан 3. Давление в полости перед ним растёт, и сила, равная его произведению на площадь седла клапана, уравнивает усилие притяжения якоря к сердечнику. То же давление, умноженное на площадь торца золотника, создаёт усилие, которое перемещает золотник до тех пор, пока усилие от растущего давления на выходе, действующего на противоположный торец золотника, умноженного на ту же площадь, не приведёт золотник к равновесию. Дальнейшее усиление тока будет вызывать рост давления на выходе и включение механизма. При этом зависимость между величиной

тока и давлением на выходе будет аналогична показанной на рисунке 4.

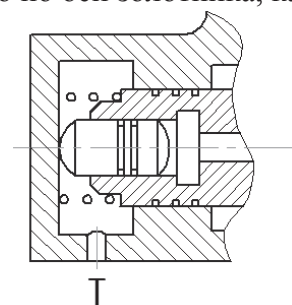


**Рисунок 5. Схема клапана с серводействием: 1 – золотник, 2 – дроссельное отверстие (жиклёр), 3 – седло конического клапана, 4 – возвратная пружина, 5 – якорь электромагнита, 6 – подвижная часть конического клапана, 7 – возвратная пружина**

Аппараты такого типа под названием «Коматрол» выпускаются концерном «Зауэр-Данфосс», а также разработаны на Чебоксарском заводе промышленных тракторов. Они свободны от недостатков, свойственных клапанам прямого действия. Так, для изменения характеристики достаточно изменить диаметр седла конического клапана. Однако у клапанов с серводействием есть собственные недостатки.

Через полость перед коническим клапаном всё время, пока управляемый механизм не включён, проходит на слив относительно небольшой поток рабочей жидкости, величина которого определяется диаметром дроссельного отверстия. Но если в трансмиссии таких клапанов много, то для обеспечения заданного быстродействия процессов включения приходится увеличивать производительность насоса гидросистемы и потребляемую на его привод мощность. Далее, по этой же причине в той же полости могут откладываться загрязнения рабочей жидкости, особенно если конструкция предусматривает повороты и изгибы потока. Наконец, при показанном на рисунке 5 конструктивном исполнении для получения на выходе максимального давления, потребного для полного включения механизма с необходимым запасом, давление в нагнетательной магистрали гидросистемы должно быть выше на величину, равную отношению усилия возвратной пружины 4 к площади торца золотника. Это также увеличивает мощность, потребную для привода насоса.

Правда, последний из указанных недостатков вполне преодолим ценой некоторого усложнения конструкции. Так, в упомянутых разработках Чебоксарского завода давление выхода действует не на всю площадь торца золотника, а на торец дополнительного плунжера меньшего диаметра, установленного по оси золотника, как показано на рисунке 6.



**Рисунок 6. Схема клапана с плунжером**

Большинство аппаратов обоих типов выпускаются в так называемом «картриджном» исполнении. Оно означает, что их корпуса представляют собой ряд соосных цилиндрических участков с диаметрами, уменьшающимися в направлении от стороны электромагнита (как показано на рисунке 3). Аппараты устанавливаются в соответствующие ступенчатые расточки корпусных деталей, внутри которых имеются сверления для нагнетательной магистрали и выходов к бустерам и на слив. Уплотнения выполнены с помощью упругих колец с радиальным натягом.

Некоторые изготовители по заказу могут поставлять аппараты совместно с переходной деталью, в которой такая расточка уже имеется. Тогда установку аппарата с такой деталью



можно производить на плоскость, в которой имеются отверстия для соединения со всеми тремя магистралями (такие установки предусмотрены для аппаратов, разработанных Чебоксарским заводом). Это в какой-то степени упрощает конструкцию корпусных деталей.

У аппаратов обоих типов есть ещё одна важная общая особенность. Она связана с характером управления величиной тока через обмотку электромагнита. Оно осуществляется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) постоянного напряжения, которое подаётся на обмотку. Импульсы подаются с частотой от 100 до 600 Гц, рекомендуемой изготовителем аппарата, а величина тока определяется отношением длительности импульсов к периоду их следования (величина, обратная частоте и обычно называемая скважностью). Чем оно больше, тем больше величина действующего тока, и в пределе может превратиться в постоянное включение, при котором ток будет равен отношению напряжения к сопротивлению обмотки.

Такой способ управления током существенно упрощает сопряжение обмотки электромагнита с микропроцессорным управляющим устройством. В нём обработка информации осуществляется в цифровом формате, так что выдача команд управления в виде ШИМ позволяет обойтись без цифро-аналогового преобразования. Кроме того, импульсный характер прохождения тока через обмотку даёт эффект осцилляции, т.е. наложения высокочастотной вибрации на золотник или клапан, что снижает трение и уменьшает гистерезис характеристики (это подтверждается, в частности, тем, что одна из известных фирм-изготовителей – британская «Sterling Hydraulics» – в своих проспектах прямо указывает, что гистерезис в 4% соответствует частоте модуляции 200 Гц).

Однако правильное использование этих преимуществ требует разумного подхода, учитывающего особенности процессов преобразования импульсов напряжения в ток через обмотку (некоторые известные автору попытки использования клапанов зарубежного производства таким подходом не отличались). Прежде всего нужно указать, что аргументом типовых характеристик вида, показанного на рисунке 4, является среднее действующее значение импульсов тока. А формирование этих импульсов из импульсов напряжения имеет достаточно сложный вид из-за того, что обмотки электромагнитов обладают существенной индуктивностью. Подробный анализ этих процессов и рекомендации по эффективному управлению током или непосредственно давлением на выходе описаны в [1].

В заключение можно рассмотреть ещё один возможный способ управления. Он основывается на том, что переходные процессы включения или выключения каждого механизма, длящиеся иногда менее 1 секунды, занимают очень малую долю общего времени работы машины. Подавляющую часть этого времени механизм находится либо во включённом, либо в выключенном состоянии. В связи с этим возникает естественная потребность применить более простые электрогидравлические аппараты типа показанного на рисунке 1.

Исследования в этом направлении в своё время были проведены в НАТИ. Проверялась возможность использования для более или менее плавного увеличения давления на выходе аппарата релейного действия (полностью аналогичного показанному на рисунке 1) за счёт включения его электромагнита в режиме ШИМ с частотой следования импульсов порядка 20 Гц. Было установлено, что постепенное увеличение относительной длительности импульсов (скважности) приводит к росту давления на выходе, правда, с наложенными колебаниями. Однако был сделан вывод, что при соединении аппарата с реальным бустером какого-либо механизма трансмиссии объёмы этого бустера и трубопровода к нему окажутся фактором, обеспечивающим демпфирующее действие, и амплитуды колебаний давления на выходе станут практически незаметными. А если к этому добавить возможное повышение быстродействия по включению и выключению аппарата, которое позволило бы поднять частоту следования импульсов напряжения до 30-35 Гц, то такое решение вполне могло бы рассматриваться как конкурентное пропорциональным редуцирующим клапанам в первую очередь по стоимости. К сожалению, эти работы продолжения не получили.

#### Литература

1. Шипилевский Г.Б. Особенности электронного управления электрогидравлическими аппаратами трансмиссий. М.: «Тракторы и сельскохозяйственные машины» № 2, 2011.