

И. Ф. Гончаревич, д-р техн. наук, проф.; К. С. Никулин канд. техн. наук, доц.

ГОУ ВПО «МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА»

Москва, Россия

АНАЛИЗ И ДИНАМИКА МЕХАНИЗМОВ ПОВОРОТА МАНИПУЛЯЦИОННЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

В статье представлена система подачи воздуха в исполнительные гидроцилиндры механизма поворота манипуляционных погрузчиков, обеспечивающая снижение динамических нагрузок.

Машины, работающие в циклических режимах имеют достаточно широкое распространение в различных отраслях промышленности. Типичными представителями таких систем являются краны различных типов, экскаваторы, некоторые виды погрузочных машин, манипуляторы различного технологического назначения и т.д. Однако наиболее резко специфические особенности таких систем выражены у двух весьма представительных классов устройств – всех типов вибрационных машин и робототехнических установок, особенно у цикловых манипуляторов. Это связано, в первую очередь, с их относительным быстродействием и достаточно высокой частотой повторения циклов по сравнению с другими установками этого класса.

Устройствам рассматриваемой системы, для которых характерен режим движения с частыми остановками (старт-стопный режим) присущи потери внутренней кинетической энергии из-за необходимости каждый раз, после очередной остановки системы, возобновлять запас этой энергии. При некоторых режимах работы имеют место потери и потенциальной энергии. Второй причиной потерь энергии может быть, не очень очевидный на первый взгляд, разрыв замкнутой траектории движения. Так, при движении механизма потенциальная энергия системы возрастает, при остановке – рассеивается тормозной демпферной системой. Таким образом, для систем рассмотренного класса, если не принимать специальных мер, характерен нерациональный расход энергии. Кроме того, старт-стопные режимы работы обуславливают и повышенные динамические нагрузки при пусках и торможениях системы, связанные с особенно интенсивной на этих этапах циркуляцией энергии, что ставит почти непреодолимым барьер дальнейшего повышения их быстродействия.

Рассмотрим более подробно конструктивные особенности одного из широко применяемых механизмов поворота манипуляционных погрузчиков.

В целом, манипуляционные системы погрузчиков, в зависимости от требуемых видов движения при выполнении своих функций, могут оснащаться как поступательными, так и вращательными механизмами. Эти механизмы составляют исполнительную систему, осуществляющую непосредственные технологические операции, обеспечивая требуемые усилия и скорости движения.

В качестве источника энергии манипуляционные механизмы могут использовать энергию давления сжатого воздуха (пневматические системы) или давления гидравлической жидкости (гидросистемы), если исключить электромеханические системы, которые не входят в наше рассмотрение.

Конструктивное решение механизмов очень велико. По виду движения механизмы можно разделить на линейные (цилиндры), поворотные двигатели и двигатели вращательного действия (моторы).

Механизм поворота руки серийного манипуляционного робота ПР-10И реализован двумя пневмоцилиндрами (поршневой пневмодвигатель) с цепной передачей и удвоением хода (рис. 1).

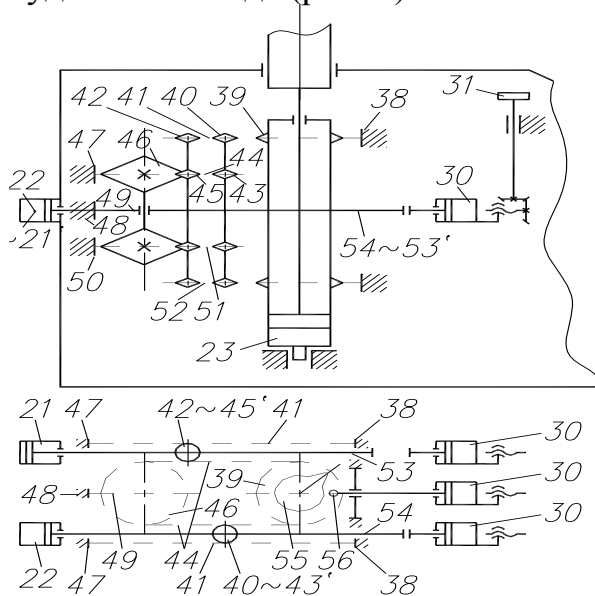


Рис. 1. Механизм поворота манипулятора робота ПР-10И

На штоках 53 и 54 пневмоцилиндров 21 и 22 и на гидроцилиндре 23 подъема колонны закреплены блоки звездочек, охватываемые цепями 41, 51 и цепью с ветвями 44 и 52. При подаче сжатого воздуха в левую полость пневмоцилиндра 22 и в правую полость пневмоцилиндра 21 шток 54 смещает блок звездочек вправо, а шток 53 смещает блок звездочек влево. При этом цепи 41 и 51 закреплены и являются упорными для вращения отмеченных выше блока звездочек с их внешней стороны, а ветви цепей 44 и 52 начинают перемещаться и вызывают поворот колонны 34 против хода часовой стрелки, т.к. они перекинуты через звездочки, включая звездочки на колонне. За счет такой конструкции происходит удвоение хода ветвей цепей 44 и 52 по сравнению с ходом штоков 53 и 54.

Поворот колонны по ходу часовой стрелки осуществляется при подаче сжатого воздуха в правую полость пневмоцилиндра 22 и в левую полость пневмоцилиндра 21. Угол поворота колонны регулируется поворотом маховичков 31, вызывающих смещение переднего и заднего (на нижнем виде – верхнего и нижнего) пневмодемпферов 30, служащих для смягчения удара штоков 53 и 54 в конце своего хода при максимальном выдвигении. Остановка колонны в среднем положении осуществляется при наезде диска 55 на упор 56 при максимальном выдвигении поршня среднего пневмоцилиндра 30.

Если рассматривать работу пневмоцилиндров с точки зрения динамики, то имеет смысл напомнить о применении цилиндров одностороннего и двухстороннего действия.

Циклограмма пневматического одностороннего поршневого привода показана на рис. 2.

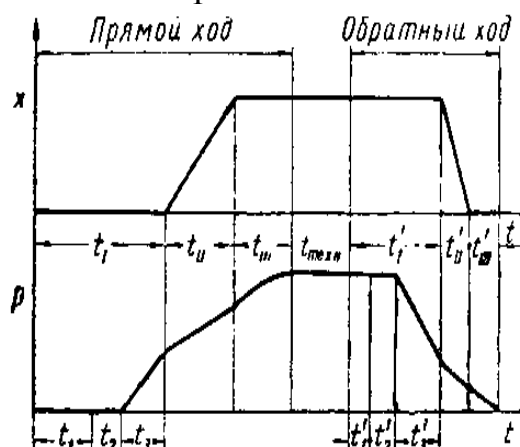


Рис. 2. Циклограмма одностороннего поршневого пневмопривода

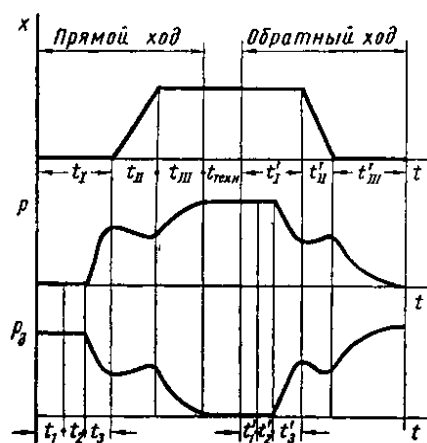


Рис. 3. Циклограмма двухстороннего поршневого пневмопривода

Время прямого хода пневмопривода складывается из следующих основных интервалов времени: t_I — время от начала переключения распределителя до начала движения поршня; t_{II} — время движения поршня; t_{III} — время изменения давления до нужной величины после остановки поршня.

Таким образом, время прямого хода равно $T_{nx} = t_I + t_{II} + t_{III}$. Интервал времени t_I (см. рис. 2), в свою очередь, складывается из следующих интервалов: t_1 — время срабатывания распределителя; t_2 — время распространения волны давления от распределителя до рабочего цилиндра; t_3 — время наполнения полости до начала движения поршня; $t_{техн}$ — время технологического процесса, для которого предназначен данный привод.

После окончания технологического процесса и подачи команды на переключение распределителя начинается обратный ход поршня; его продолжительность складывается из тех же интервалов времени, что и время прямого хода. Разница будет заключаться в том, что перемещение поршня в этом случае происходит не за счет давления воздуха, а под действием

силы тяжести пружины (как в нашем случае), а, в ряде случаев, постоянного подпирającego давления воздуха в этой полости. Кроме того, нагрузка на шток поршня будет другой.

Циклограмма двустороннего привода показана на рис. 3 и аналогична циклограмме одностороннего привода за исключением той части, где возврат поршня происходит под действием пружины или другой возвращающей силы. В этой части движение аналогично выдвигению, но направление, соответственно, осуществляется в обратную сторону.

Проведя ряд физических экспериментов с поршневым приводом реального робота (ПР-10И) с возвратным противодавлением, процесс заполнения поршневой полости пневмоцилиндра воздухом оказывается носит типично динамический характер (см. экспериментальные данные на рис. 4).

В начале цикла поршневая полость соединена с атмосферой, поэтому избыточное давление в ней равно нулю. При срабатывании электропневматической быстродействующей распределительной системы манипулятора сжатый воздух из магистрали высокого давления устремляется в поршневую полость, находящуюся под атмосферным давлением.

Как следует из графиков экспериментальных данных на рис. 5 начальный импульс давления носит кратковременный характер и имеет ярко выраженный динамический вид, его максимальное значение временами превышает даже давление в высоконапорной магистрали, не говоря уже о статическом давлении в другой полости. Можно полагать, что он формируется вследствие удара воздушной струи движущейся с большой скоростью о неподвижный поршень (в этом случае относительная скорость воздушной струи также имеет максимальное значение, так как в этот момент поршень неподвижен). Этот импульс имеет малую продолжительность и не обеспечивает страгивание поршня с места.

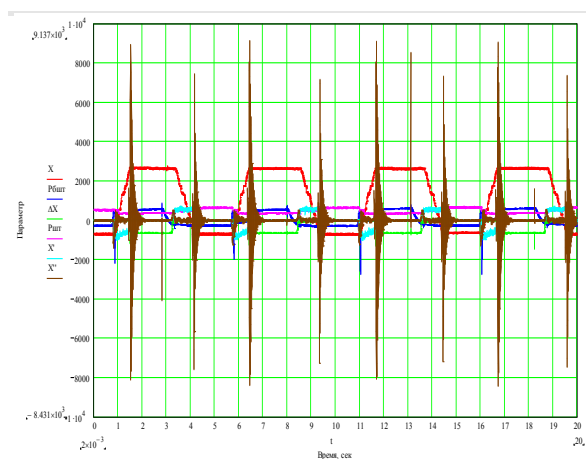


Рис. 4. Экспериментальные данные поршневого привода робота ПР-10И

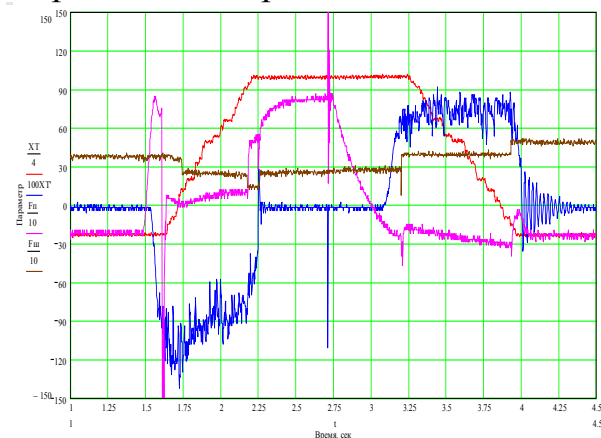


Рис. 5. Графики экспериментальных данных поршневого привода за один цикл работы

В то же время, вследствие удара о неподвижный поршень происходит затормаживание воздушной струи, при котором её кинетическая энергия

преобразуется в потенциальную, что и выражается в повышении давления воздуха в струе выше давления в высоконапорной магистрали. На этом этапе статическое давление во всей поршневой полости пневмоцилиндра остаётся невысоким. Только постепенно, по мере поступления дополнительных порций воздуха, статическое давление в поршневой полости начинает повышаться и достигает давления в высоконапорной магистрали, только после остановки поршня и стабилизации объёма поршневой полости.

Кроме того, анализ экспериментальных данных показывает также, что в моменты торможения, особенно в конце этапа выдвижения руки, действуют значительные ускорения (замедления) (см. рис. 4), следствием чего является высокая динамическая нагруженность манипулятора погрузчика.

Таким образом, возникает необходимость модернизации системы подачи воздуха в пневмопривод манипулятора. Требуется её регулирование при заполнении поршневой полости.

В результате проведения ряда теоретических исследований была разработана принципиально новая система подачи воздуха с блоком рекуперации энергии. Этот блок представляет собой отдельный функциональный элемент, выполненный в виде бесштокового пневмоцилиндра, поршень которого жестко соединен с упругим элементом – пружиной (рис. 6). С основным приводным цилиндром он соединяется пневмолиниями через систему пневматических кранов с электромагнитным управлением.

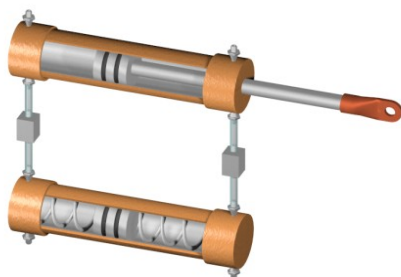


Рис. 6. Пневмоцилиндр поршневого механизма поворота, оснащенный рекуперативно-тормозным блоком

Данная система накапливает энергию в период интенсивного ее рассеивания, то есть при остановке. Это дает возможность не оказывать влияния на рабочий (номинальный) период движения с максимальной постоянной скоростью, отключая рекуперативно-тормозной блок в процессе этого перемещения и включая его только при торможении для рекуперации энергии и разгоне – для отдачи накопленной энергии.

Как показывают первые математические эксперименты на механизмах поршневого типа (см. рис. 7 и 8), было выявлено снижение динамических нагрузок, затрат энергии и увеличение быстродействия системы в целом.

Пружина рекуперативно-тормозного блока работает в режиме сжатия-растяжения таким образом, что при ходе поршня блока благодаря

вытравливанию давления воздуха из любой полости основного пневмоцилиндра во время торможения, она накапливает в себе потенциальную энергию, которую использует при его разгоне в начале следующего цикла движения обратным вытравливанием сжатого воздуха.

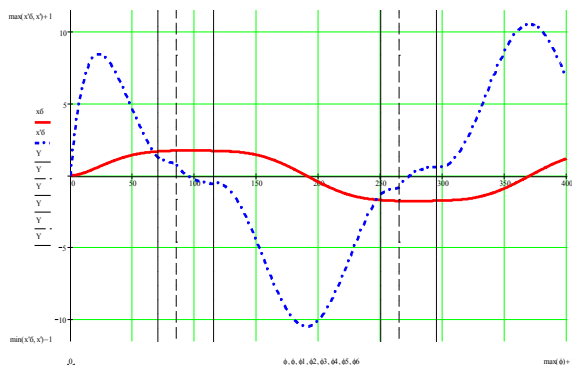


Рис. 7. Расчетные кинематические характеристики пневматической системы с рекуперативно-тормозным манипуляционного погрузчика с блоком (W) и системы без рекуперативно-тормозной системой рекуперативно-тормозного блока (W₀)

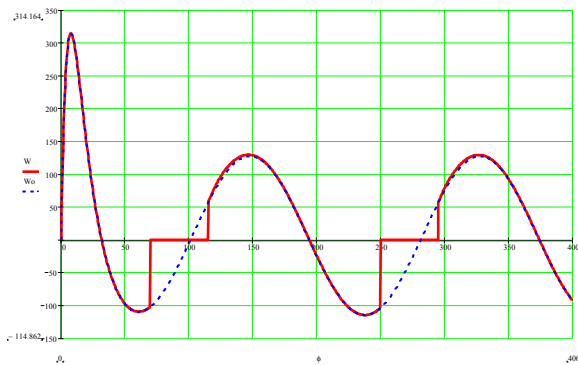


Рис. 8. Графики энергозатрат для рекуперативно-тормозной системы

Использование рекуперативно-тормозного блока позволяет менять энергетический баланс в направлении снижения энергозатрат не меняя общий режим работы системы. Проводя сравнительный анализ энергетических характеристик исходной (без блока) и модернизированной (оснащенной блоком) систем можем отметить, что экономия энергии может составить до 30 %. Эта экономия получается из-за работы рекуперативного блока, подменяющего в определенные моменты работу привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка рекуперативно-тормозной системы механизма поворота манипуляционного погрузчика: отчет о НИР (заключ.) / МГАВТ; рук. И. Ф. Гончаревич; исполн. К. С. Никулин и [и др.]. – М. : 2010.
2. Герц, Е. В. Динамика пневматических приводов машин-автоматов / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1964.
3. Гончаревич, И. Ф. Методы учета собственных динамических свойств робототехнических устройств при проектировании системы рекуперации энергии роботов-погрузчиков с учетом массы перемещаемого груза / И. Ф. Гончаревич // Экстремальная робототехника : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 1997.
4. Гончаревич, И. Ф. Исследования в области динамики, разработки методов расчета и оптимального проектирования механизмов роботов, организация роботизированных производственных участков / И. Ф. Гончаревич // Экстремальная робототехника : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 1999.
5. Гончаревич, И. Ф. Исследование работы специальных механизмов для портовых манипуляционных роботов / И. Ф. Гончаревич, К. С. Никулин // Ин-терстроймех–2006 : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Москва, 2006.
6. Козырев, Ю. Г. Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. – М. : Машиностроение, 1988.