

В.И. Большаков, И.Б. Листопадов

НОВАЯ ТЕНДЕНЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Приведены обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований гидромеханических систем с различными способами управления гидромеханизмами. Показана несовместимость традиционных алгоритмов управления для выполнения противоречивых технологических требований к гидромеханизмам. Предложены алгоритмы дискретного управления позволяющие обеспечить эти требования.

Постановка задачи

Успех любого производства обеспечивается высоким качеством оборудования [1]. Под качеством следует понимать такие служебные характеристики оборудования, как производительность, точность выполнения операций, прочность, ресурсоемкость, надежность, ремонтпригодность, долговечность, экономичность. Большая часть характеристик оборудования – производительность, точность выполнения операций, прочность, ресурсоемкость – задаются на стадии проектирования, конструирования и изготовления.

Постоянное совершенствование конструкции гидрофицированного оборудования с использованием высокопрочных материалов и прогрессивных методов их обработки, введение автоматизированного проектирования машин и механизмов позволило уменьшить металлоемкость оборудования, повысить, при этом, его надежность. Уменьшение веса движущихся элементов привода и более высокие уровни давлений позволили увеличить быстроходность и, следовательно, производительность гидрофицированного оборудования. Повышение быстроходности оборудования и совершенствование запорной и распределительной гидроарматуры привело к динамическим явлениям при разгоне, реверсе или торможении рабочих органов гидросистем, что потребовало создания новых способов автоматизированного управления гидроприводом, развития и совершенствования методов расчета гидросистем.

Повышение технико-экономических показателей работы гидрофицированных машин и агрегатов металлургического производства обеспечивает улучшение их служебных характеристик, таких как быстродействие и надежность работы всего комплекса механизмов, составляющих машину или агрегат, и связано с применением быстродействующих силовых приводов, систем управления, работающих по специальным программам и алгоритмам. Анализ работы гидрофицированного оборудования, приведенный в работах [2–4] показывает, что гидропривод используется во всех пределах металлургического производства.

В доменном производстве – в приводах конусов, наклона подвижных плит, перемещения «юбки», перемещения приемной воронки, клапанных механизмах загрузочных устройств и воздухонагревателей. В сталеплавильном производстве гидропривод применяется в механизмах скачивания шлака, выталкивания слитков, подъема крышек вакууматоров, в прессах разделки и пакетирования лома, брикетирования стружки, в заправочных машинах, механизмах управления стопорами ковшей, приводах механизмов электросталеплавильных печей и машин непрерывной разливки стали. Наибольшее применение гидропривод нашел в прокатном и трубокатном производствах. Практически во всех приводах механизмов и агрегатов, за исключением главных приводов клетей прокатных станов и рольгангов, используется гидропривод.

Анализ гидросистем, применяемых в черной металлургии, условий их работы и выполняемые операции показывает, что они предназначены для придания рабочему органу поступательного или вращательного движения. При работе гидромеханизмов должны выполняться следующие технологические требования [2]:

- минимальное время срабатывания механизма. Время работы (быстродействие) каждого механизма является составной частью циклограммы работы машины, характеризующей ее производительность;
- достижение установившейся скорости на заданном участке перемещения рабочего органа машины;
- заданную точность позиционирования, т.е. перемещения в заданную точку;
- реализацию необходимых силовых воздействий при выполнении технологических операций;
- обеспечение следящего режима работы механизма;
- высокую надежность работы механизмов за счет уменьшения или исключения динамических нагрузок.

Опыт исследования гидромеханических систем показывает, что этот перечень задач, решение которых обеспечивает технологические условия работы гидромеханизмов необходимо дополнить задачами обеспечения безударной остановки рабочего органа на упоре и обеспечения минимального времени торможения рабочего органа.

Изложение основных материалов исследования

Практически все поставленные задачи взаимосвязаны. Так, при решении задач обеспечения минимального времени срабатывания и торможения рабочего органа гидромеханизма, обеспечения силовых воздействий при выполнении технологических операций приходится решать задачу уменьшения или исключения динамических нагрузок, возникающих при пуске, разгоне и торможении рабочего органа гидромеханизма. Обеспечение высокой установившейся скорости перемещения рабочего органа часто входит в противоречие с задачей обеспечения точности позиционирования. Комплексное решение противоречивых задач в современном гид-

роприводе решают двумя путями. Это поиск разумного компромисса между несколькими противоречивыми задачами. Однако такой путь не всегда приводит к положительному результату.

Например, при работе гидромеханического экспандера для калибровки электросварных труб необходимо обеспечить высокую точность циклического позиционирования труб при их подаче на калибрующий инструмент [5]. Одновременно требуется поддерживать высокую среднюю скорость перемещения механизма подачи труб для обеспечения заданной производительности экспандера и всего комплекса оборудования участка экспандирования, содержащего четыре экспандера.

Для подачи труб в проекте была использована позиционная система управления, основанная на следующем алгоритме. По команде оператора (во время первой подачи, затем автоматически) экспандера включается гидромотор привода тележки механизма подачи с трубой. Скорость перемещения тележки определяется настройкой дросселя. По команде путевого датчика тележка переводится на «ползучую» скорость путем введения в гидросхему дополнительного дросселя, т.е. используется наиболее распространенный в гидроприводе способ уменьшения скорости. Затем по команде датчика остановки перекрывается сливная магистраль и тележка останавливается. При таком алгоритме управления тележкой не удалось подобрать параметры настройки дросселей, обеспечивающих заданный технологический процесс еще на стадии стендовых испытаний. Заданную точность позиционирования тележки с трубой не удавалось осуществить по ряду причин. При переводе тележки на ползучую скорость в гидроприводе возникал длительный колебательный процесс, время действия которого значительно превышало заданное время движения тележки на пониженной скорости. При перекрытии сливной магистрали возобновлялись колебания тележки, и ее остановка происходила в произвольном положении, не обеспечивающем заданное положение.

При пуске участка экспандирования в гидросистеме механизма подачи труб был использован другой алгоритм управления и средства его реализации (рис.1). Для торможения тележки и обеспечения заданного позиционирования трубы была использована комбинация предохранительного клапана и гидрораспределителя. Особенность использования такого способа торможения описанная в работе [6] заключается в колебательном движении рабочего органа, вызванном закрытием запорного элемента (гидрораспределителя) и большая, в пределах размаха колебаний, ошибка позиционирования, что снижает преимущество высокого быстродействия. Под быстродействием

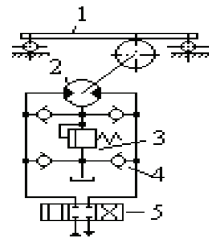


Рис.1. Гидросхема механизма подачи труб. 1– тележка; 2– гидромотор; 3– предохранительный клапан; 4– обратные клапаны; 5 – гидрораспределитель

в данном случае понимается время от команды на торможение до первого достижения рабочим органом нулевой скорости.

На рис.2 приведена осциллограмма работы механизма подачи. На рис.2 показаны давления в напорной (Pн) и сливной (тормозной Pт) полостях и перемещение тележки (S). Видно, что колебательный процесс при остановке тележки продолжительностью 2,4с увеличивает машинное время работы механизма. Кроме того, произвольная остановка тележки уменьшает точность ее позиционирования.

Таким образом, использование двух наиболее используемых в гидроприводе способов торможения с различными алгоритмами управления, реализованными на современной элементной базе, не обеспечило точного позиционирования тележки механизма подачи в произвольном положении и обеспечения заданного времени работы механизма.

Анализ известных способов управления, позволяющих оптимизировать работу механизма подачи, показал, что, даже использование систем управления с обратной связью (в данном случае по перемещению) и с быстродействующими информационными и управляющими системами, не дает необходимого результата. Основным препятствием являются колебания тележки. Введение в гидросистему устройств дозирующих подаваемый в гидромотор объем жидкости не решает вопрос точности позиционирования из-за межполостных перетечек рабочей жидкости в гидромоторах и управляющих элементах гидросистемы. Демпфирование колебаний тележки требует повышения мощности, что возможно только путем создания нового привода. В этом случае также не обеспечивается точность позиционирования тележки. Таким образом, применение традиционных способов и алгоритмов систем автоматического управления гидромеханизмами не позволяет реализовать заданные режимы работы механизмов, несмотря на наличие современных информационных и управляющих средств. Комплексное решение задачи точности позиционирования тележки с сохранением минимального машинного времени ее работы стало возможным при создании авторами работы нового алгоритма управления, а фактически нового способа управления тележкой механизма подачи труб. Способ управления основан на введении обратной связи по динамическому параметру гидромеханической системы – периоду колебаний тележки с трубой или его близкому аналогу (в данном случае) – времени первого достижения тележкой нулевой скорости при торможении [7]. Задачей управления являлось устранение колебательного движения тележки и предотвращение отката от достигнутого при торможении мак-

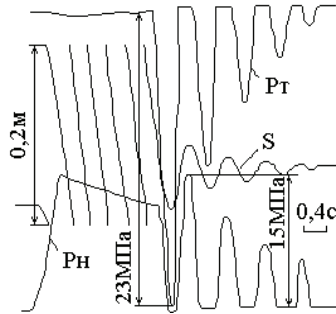


Рис.2. Осциллограмма работы механизма подачи.

симального перемещения. Такой способ управления фактически представляет собой дискретное (импульсное) управление реакцией гидромеханической системы, в которой управляющим параметром служит один из динамических параметров, характеризующих систему.

Для реализации этого способа была изменена гидросхема привода тележки и добавлена система управления торможением (рис.3). В гидросхему дополнительно введен гидрораспределитель 1, управляющий предохранительным клапаном 2. Между электромагнитами гидрораспределителей 1 и 3 введена связь через блок управления торможением 4. Работа механизма подачи с управляемым торможением происходит следующим образом. По команде на перемещение тележки срабатывает гидрораспределитель 3 и масло от насоса поступает в гидромоторы 5. Гидромоторы через зубчатую пару перемещают тележку, подавая трубу на калибрующий инструмент экспандера. Торможение тележки производится оператором либо по команде позиционных датчиков. При команде на торможение золотник гидрораспределителя 3 переводится в нейтральное положение, запирая напорную и сливную магистрали. Одновременно подается команда на блок управления 4, который

начинает отсчет времени торможения τ . Когда время торможения τ станет равным времени полупериода колебаний тележки ($\tau=T/2$), т.е. когда скорость тележки будет равна нулю, подается команда на электромагнит гидрораспределителя 1. Гидрораспределитель соединяет напорную и сливную полости гидромоторов 5 со сливом. Сжатое при движении тележки по инерции в сливной (тормозной) полости масло сбрасывается в бак. Давления в напорной и сливной полостях уравниваются. Тележка останавливается в заданном положении. При необходимости, время торможения τ регулируется, компенсируя продолжительность срабатывания электро и гидроаппаратуры. Эффективность управляемого торможения проиллюстрирована приведенной на рис.4 осциллограммой, полученной в результате экспериментальных исследований. Фиксировались давления в напорной – P_H и сливной (тормозной) – P_T полости гидромоторов; S – перемещение тележки, время разгона – t_p и время торможения – τ тележки. Временные параметры фиксировались по сигналам работы электромагнитов k_1 – гидрораспределителя (поз.3 на рис.3); k_2 – предохранительного клапана (поз.1 на рис.3). Результаты исследований показали, что параметры гидросистемы механизма подачи экспандера позволяют осуществлять управляемое торможение тележки. Из осциллограммы видно, что торможение тележки по предложенному алгоритму практически полностью

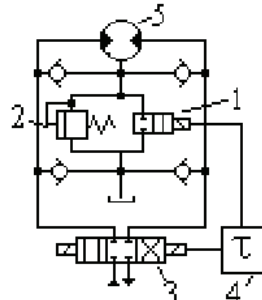


Рис.3. Модернизированная гидросхема механизма подачи труб

устраняет колебательное движение тележки при торможении. В данном случае импульсное управление реакцией гидромеханической системы использовано для торможения и остановки рабочего органа симметричного гидропривода в заданной позиции. После остановки рабочий орган уравновешен и не испытывает внешнего воздействия. Механизм подачи подготовлен для выполнения технологической операции.

В случаях, когда рабочий орган после остановки требует закрепления в заданной позиции, что обычно осуществляется упором и давлением рабочей жидкости в напорной полости гидродвигателя, рассмотренный алгоритм управления должен быть изменен. При остановке на упор требуется обеспечить безударный подход рабочего органа гидромеханизма к упору, т.е. подход рабочего органа к упору на минимальной скорости. В настоящее время для этого используются тормозные устройства, встроенные либо в гидросистему движущегося механизма, либо в упор [6]. Расчет параметров тормозного устройства обычно требует специального исследования [4]. Торможение осуществляется традиционными способами за счет создания сопротивления истечению жидкости из тормозной полости, зависящего от параметров движения рабочего органа.

Импульсное управление реакцией гидромеханической системы для торможения и остановки на упор рабочего органа возможно с изменением алгоритма управления. Для симметричного гидропривода основная часть алгоритма (перекрытие напорной и сливной магистралей с последующим, через время, равное половине периода колебаний рабочего органа, сбросом давления из сливной магистрали) остается неизменной. При этом обеспечивается торможение, уменьшение давления в напорной полости гидродвигателя и остановка в заданной позиции. Конечная скорость рабочего органа обеспечивается настройкой времени уменьшения давления в напорной полости или соединения напорной магистрали с напорной полостью гидродвигателя через дроссель в момент сброса давления из сливной полости гидродвигателя. Такой же прием можно применять и при управлении реакцией гидромеханической системы в несимметричном гидроприводе.

Импульсное управление реакцией гидромеханической системы эффективно не только для обеспечения точности позиционирования и безударной остановки рабочего органа гидросистемы на упоре, но и для повышения быстродействия при разгоне и торможении гидромеханических систем с двумя магистралями и центральной массой. Причем при работе в переходных режимах колебательное движение рабочего органа заменяет-

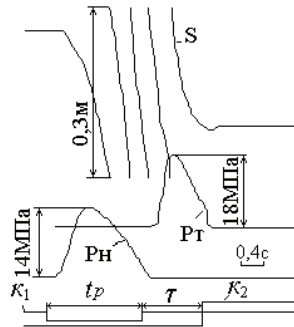


Рис.4. Оциллограмма работы механизма подачи с импульсным управлением

ся аperiodическим движением, что устраняет или значительно снижает нежелательные динамические процессы в гидроприводе. Разработанные и исследованные авторами работы [8] способы управления основаны на двухступенчатом открывании или закрывании запорного органа при пуске или остановке рабочего органа гидросистемы. Воздействие на гидромеханическую систему, как и в предыдущих случаях, осуществляется с помощью двух последовательных импульсов с паузой между ними равной полупериоду колебаний рабочего органа. Первый импульс инициирует колебательное движение рабочего органа, а второй – трансформирует колебательное движение в аperiodическое движение. Импульсы в виде открывания (закрывания) запорного элемента связаны между собой параметром D – относительной площадью сечения открытого отверстия. $D = f/f_{max}$, где f – модуль первой ступени нагружения; $f_{max}=1$ – модуль второй ступени нагружения.

На рис.5 приведены графики, иллюстрирующие эффективность двухступенчатого управления гидроприводом. Можно заметить, что при разгоне и торможении существует оптимальное значение параметра D . В работе [8] показано, что область оптимальных значений параметра лежит в пределах $0,05 \leq D \leq 0,17$ при пуске гидросистемы и $0,26 \leq D \leq 0,43$ при ее остановке.

Косвенное подтверждение эффективности использования двухступенчатого управления гидроприводом содержится в работе [9], где экспериментально установлено, что при смещении времени открывания клапанов при подаче рабочей жидкости через два клапана одинакового проходного сечения в гидроцилиндр подъемных цилиндров гидропресса колебания давления имеют меньшее значение, чем при одновременном открывании клапанов.

Управление гидроприводом с концевой массой, к которому относятся гидравлические вертикальные прессы, подъемники и другие транспортные механизмы также можно осуществлять импульсными способами управления. В гидромеханизмах такого типа повышение быстродействия и устранение динамических явлений в начале подъема рабочего органа возможно способами, исследованными авторами работы для гидросистем с двумя магистралями и центральным расположением рабочего органа. Управление реакцией гидромеханической системы осуществляется с помощью двухступенчатого открывания запорного органа. Следует учесть,

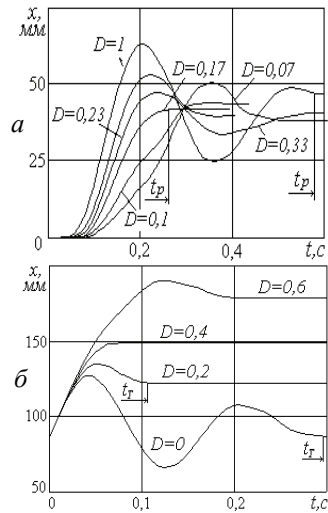


Рис.5. Реакция гидромеханической системы: a – при пуске; b – при остановке

что в прессах, использующих двух и трехступенчатые клапанные системы затруднительно формирование первого импульса. Поэтому для эффективного использования импульсного управления необходимо в гидрораспределителях использовать одноступенчатые клапаны либо производить расчет клапанных систем таким образом, чтобы пауза между подъемом первой ступени клапана (разгрузочного, управляемого толкателем) и всплытием основного клапана соответствовала времени полупериода колебаний рабочего органа системы. Также следует изменить методику расчета проходного сечения разгрузочного клапана таким образом, чтобы выдерживалось оптимальное соотношение (параметр D в работе [8]) между ним и полным проходным сечением клапанного механизма.

Торможение рабочего органа с остановкой в промежуточных положениях осуществимо также с помощью двухступенчатого закрывания запорного элемента с расчетом параметров управления по методике [8]. В этом случае необходимо учитывать указанные выше особенности устройства клапанных систем. При торможении рабочего органа гидромеханических систем с концевой массой в крайних положениях, т.е. перед их постановкой на упор, необходимо использование другого построения импульсного управления, аналогичного приведенному выше алгоритму управления механизмом подачи труб при остановке его рабочего органа на упор.

Выводы

Таким образом, новые способы управления дискретными гидромеханическими системами различного вида, разработанные и исследованные авторами работы для некоторых типов гидропривода, частично внедренные или опробованные на действующем оборудовании, позволяют зафиксировать возникновение новой тенденции в управлении гидромеханическими системами. Каждый из способов управления представляет собой два последовательных воздействия одиночными импульсами на гидромеханическую систему. Первое воздействие возбуждает колебательный процесс в гидросистеме. Второе воздействие трансформирует колебательное движение рабочего органа:

- в движение с установившейся скоростью;
- в движение на ползучей скорости с остановкой на упоре;
- в апериодическое движение с последующим остановом рабочего органа в произвольном положении;
- в останов рабочего органа в заданном положении;

В некоторых случаях параллельно основному алгоритму вводится алгоритм управления силой (давлением) восстанавливающей движение рабочего органа.

Для каждого типа гидропривода и решаемой гидромеханизмом задачи разрабатывается отдельный алгоритм управления, реализуемый различными средствами элементной базы гидропривода. Общим для всех алгоритмов является пауза между импульсами, играющая роль управляющего

параметра. Значение паузы равно величине равной половине периода колебаний рабочего органа или определяется по нулевой скорости рабочего органа при его первом колебании.

Импульсное управление, позволяющее гидромеханизмам обеспечивать мало совместимые в настоящее время технологические задачи их функционирования, расширяет возможности гидропривода, поднимает уровень систем управления до современного уровня элементной базы гидропривода и информационных систем и может служить альтернативой традиционным системам управления.

1. *Высоконадежное* металлургическое оборудование в ресурсосберегающих технологиях. / В.И. Большаков, А.Г. Величко, С.Т. Плискановский и др. – Днепропетровский институт технологии, 2000. – 232 с.
2. *Кожевников С.Н., Пешат В.Ф.* Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
3. *Праздников А.В.* Гидропривод в металлургии. – М.: Металлургия, 1973.–336 с.
4. *Устройство, эксплуатация и обслуживание гидропривода механизмов доменных цехов* / В.И. Большаков, А.Ю. Вулых, В.С. Кострицкий и др. – М.: Металлургия, 1989. – 112 с.
5. *Освоение гидромеханических экспандеров отечественной конструкции на Харцизском трубном заводе* / О.Н. Кукушкин, И.Б. Листопадов, Н.В. Михайловский и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – №1, – 1991.– С.34–36.
6. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Особенности способов торможения гидромеханизмов металлургических машин // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб.научн.тр.ИЧМ. – Вып.5. – 2002.– С.321–329.
7. *Большаков В.И., Листопадов И.Б., Михайловский Н.В.* Применение в гидромеханизмах управляемого торможения с учетом колебаний рабочего органа // *Теория и практика металлургии*. – №5–6. – 2003. – С.133–136.
8. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Совершенствование способов управления гидрофицированными механизмами // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №4. – 2006, –С.110–114.
9. *Злобинский В.Е.* Переходные процессы в гидромеханических системах металлургических машин. – Днепропетровск, ГМетаУ, 1996. – 112с.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук В.А.Носковым