

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ СТАНКОВ СО СЛОЖНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИНХРОННЫХ СВЯЗЕЙ

В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина, В. Х. Фидаров

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Ключевые слова: внутренние формообразующие связи; генератор гидравлических импульсов; гидравлические связи; гидравлический шаговый двигатель; гидравлический шаговый привод; металлорежущие станки.

Аннотация: Рассмотрена возможность построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков различного технологического назначения в виде гидравлической синхронной связи на основе шагового гидропривода в целях применения агрегатно-модульного принципа для повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции цепей станка.

Введение

При создании новой модели металлорежущего станка или модернизации существующей актуальной становится задача проектирования и построения внутренних (формообразующих) цепей станков, представляющих собой компонент общей структуры станка, рациональных по функциональной точности, многозвенности, металлоемкости.

Структура кинематических цепей в значительной степени определяет конструктивную сложность станка, методы его настройки, оказывает существенное влияние на точность (геометрическую и кинематическую) и жесткость станка, особенно в станках с точными кинематическими цепями для осуществления точных взаимосвязанных формообразующих и координатных перемещений, когда необходимо создать жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом.

Одним из основных показателей качества металлорежущих станков является точность, которая представляет собой результат следующих факторов:

- правильного выбора общей компоновки станка и конструкции его отдельных узлов, в особенности структурных внутренних (формообразующих) цепей;
- высокой точности изготовления и сборки станка;
- жесткости технологической системы.

Сложной задачей для металлорежущих станков является обеспечение кинематической точности, которая имеет первостепенное значение для станков со сложными движениями формообразования, таких как зубо- и резьбообрабатывающих, токарно-затыловочных, токарно-винторезных.

Известные традиционные методы построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе механических связей для повышения их точности, которые сводятся к увеличению жесткости систем станков, выбору рациональной конструкции базовых деталей, повышению качества сборки и доводки узлов, достигли определенного предельного уровня влияния на точность станков и практически не имеют резервов повышения точности.

Дальнейшие работы в данном направлении приводят к существенному повышению стоимости станка. Особенно это актуально для станков, имеющих сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые механические цепи значительной протяженности, которые должны обеспечить жесткую функциональную связь для создания точных взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента. К таким цепям относятся: винторезные в резьбообрабатывающих станках; затылования (деления) в токарно-затыловочных станках; обката и деления в зубообрабатывающих станках для обработки зубьев конических и цилиндрических зубчатых колес; цепи подачи различного назначения – вертикальная, тангенциальная, радиальная, диагональная – в зубофрезерных станках и т.д.

Для осуществления в станке требующегося необходимого исполнительного формообразующего движения между заготовкой и инструментом необходимо создать кинематическую связь между исполнительными звеньями станка и кинематическую связь этих звеньев с источником движения. Данные связи осуществляются в основном с помощью механических элементов как в цепях главного движения, так и во внутренних (формообразующих) цепях станков.

Характеристика формообразующих цепей металлорежущих станков, составленных из механических звеньев

Кинематические внутренние (формообразующие) цепи с механическими звеньями обеспечивают точное передаточное отношение выходных звеньев – заготовки и инструмента и не требуют дополнительных поднастроек в процессе работы.

На кинематическую точность внутренних цепей, составленных из механических звеньев (валов, зубчатых и иных передач, муфт и т.д.), влияют геометрическая неточность элементов и неточность их взаимного расположения, обусловленная погрешностями обработки и сборки.

Существенное влияние на точность цепи оказывают температурные деформации и крутильная жесткость, которая определяется взаимным углом поворота валов конечных звеньев кинематических цепей в зависимости от приложенного крутящего момента, жесткостью и числом стыков кинематических пар.

Большое значение приобретает влияние крутильной жесткости в винторезных цепях; цепях деления и обката значительной протяженности, при этом цепи не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность, так как повышенное трение, изнашивание приводят к постоянному снижению точности кинематических цепей. Под действием усилий резания, переменных сил трения и инерционных нагрузок валы с закрепленными зубчатыми колесами, шкивами деформируются, что создает дополнительные динамические нагрузки в цепях, а валы с закрепленными шестернями испытывают крутильные и поперечные колебания.

Работая в тяжелых динамических условиях и передавая конечным звеньям цепи – заготовке и инструменту – большие усилия, элементы кинематических цепей изнашиваются, и первоначальная точность станка теряется.

Кроме того, сложное пространственное расположение элементов кинематических механических цепей между подвижными исполнительными органами (уз-

лами заготовки и инструмента) станков предъявляет жесткие требования к размещению исполнительных механизмов станков (гитар сменных колес для настройки цепей делительных, обкатки, дифференциала, корректирующих устройств и т.д.) показателям кинематической точности, жесткости, металлоемкости.

Одним из возможных, практически реализуемых, решений повышения точности внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков и сохранения ее в процессе эксплуатации является сокращение протяженности кинематических цепей и применение гидравлических связей в виде высокоточного дискретного шагового гидравлического привода [2, 3].

Оценка гидравлических формообразующих связей на основе шагового гидропривода в металлорежущих станках

Основной целью построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков различного технологического назначения на основе шагового гидропривода в виде гидравлических связей является устранение неоправданного многообразия конструктивного и компоновочного исполнения внутренних кинематических цепей, выполняющих однотипные функции, и приведение их к возможному единообразию.

Гидравлический шаговый привод составляет новый класс объемных гидроприводов, характерной особенностью которых является то, что в качестве силового исполнительного органа в них используется специальный гидравлический шаговый двигатель (ГШД), выходной вал которого устойчиво обрабатывает управляющие дискретные сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности при значительных нагрузках. Структурно шаговый гидропривод представляет собой систему, состоящую из трех функционально и конструктивно завершенных агрегатов (модулей): источника рабочей жидкости (насосной установки); управляющего (коммутирующего) устройства (генератора гидравлических импульсов) и исполнительного силового ГШД [3, 4].

Поскольку для воспроизведения образующей линии по методу обката между перемещениями рабочих органов – узлов заготовки и инструмента – необходимо обеспечить требуемую функциональную зависимость, а для получения формообразующего движения осуществить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом, то из всех разновидностей шаговых гидродвигателей наиболее приемлемыми являются двигатели с механической редукцией шага.

Внутренние кинематические цепи металлорежущих станков, выполненные в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода, возможно построить, используя агрегатно-модульный принцип [4 – 8], благодаря тому, что все составные агрегаты шагового гидропривода – источник рабочей жидкости (насосная установка), исполнительный силовой орган (ГШД с механической редукцией шага), управляющее устройство (генератор гидравлических импульсов (ГГИ)) – выполнены в виде конструктивно и функционально завершенных блоков (модулей), которые имеют типовые присоединительные размеры и стыковочные устройства. Это обеспечивает возможности соединения с конечными звеньями кинематических цепей и выполнения заданных функций либо самостоятельно, либо совместно с другими блоками в зависимости от сложности, назначения, точности кинематической цепи, числа формообразующих движений, что позволяет осуществить кинематическую связь для станков различных типоразмеров и технологического назначения.

Передаточные отношения внутренней (формообразующей) цепи, выполненной в виде гидравлической связи на основе шагового гидропривода, связывающие в определенной зависимости движения заготовки и инструмента, зависят от соот-

ношения частот гидравлических импульсов, подаваемых к ГШД, осуществляющих согласованное движение заготовки и инструмента.

Используя свойства частотного регулирования скорости исполнительных шаговых гидродвигателей, возможно применить гидравлические связи на основе шагового гидропривода для построения внутренних (формообразующих) цепей станков взамен механических, которые обеспечивают жесткую функциональную связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента.

Использование дискретного шагового гидропривода для построения внутренних кинематических цепей станков позволяет существенно упростить систему управления, получить достаточную точность при разомкнутой системе управления благодаря однозначному соответствию между числом и частотой следования управляющих импульсов и величиной и скоростью обработки дискретных перемещений (угловых или линейных) на выходе исполнительного органа.

Используя свойства частотного регулирования скорости исполнительных органов шагового гидропривода, представляется возможным гидравлические связи на основе шагового гидропривода применить для построения внутренних (формообразующих) цепей, требующих точного взаимосвязанного формообразующего движения заготовки и инструмента. Благодаря использованию гидравлической связи, кинематика и компоновка станка существенно упрощаются, металлоемкость и масса станка уменьшаются, точность обработки становится мало зависимой от изменения режимов резания и условий эксплуатации. Накопленная погрешность изделия не зависит от расстояния между заготовкой и инструментом и будет определяться точностью изготовления конечных делительных передач станка и точностью изготовления силовых шаговых гидродвигателей, а общая протяженность кинематической цепи между инструментом и изделием будет значительно сокращаться.

Рассмотрим структурные схемы металлорежущих станков различного технологического назначения, формообразующие кинематические цепи которых построены в виде гидравлических связей на основе гидропривода с различными схемами коммутации рабочей жидкости.

Реализация построения гидравлических внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе шагового гидропривода

На рисунке 1 приведена структурная схема токарно-затыловочного станка с гидравлическими формообразующими связями для затылования червячных модульных фрез с винторезными стружечными канавками с модифицированной системой управления.

Станок включает в себя заготовку 11, совершающую вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки i_v , инструмент 12, взаимодействующий с заготовкой по цепи затылования (деления).

Движение затылования (деления), связывающее между собой вращение заготовки 11 и вращение кулачка затылования 7, от которого получает возвратно-поступательное движение верхняя каретка 13 с инструментом 12, осуществляется от шагового гидродвигателя 3 через суммирующий механизм 2 в виде дифференциала с коническими колесами, кинематически связанного с кулачком затылования 7. Управление шаговым гидродвигателем осуществляется генератором гидравлических импульсов 9, золотниковая втулка которого получает вращение от зубчатого колеса 10, жестко закрепленного на шпинделе изделия.

Продольное перемещение продольного суппорта 8 с инструментом 12 связано с вращением заготовки 11 винторезной цепью и осуществляется от шагового гидродвигателя 15, кинематически соединенного посредством ходового винта 17

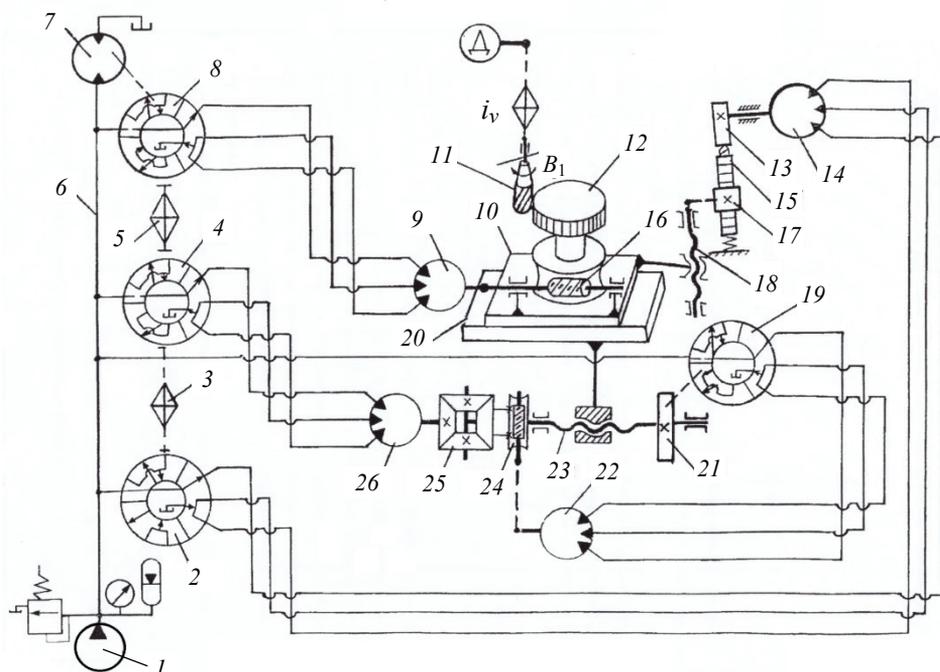


Рис. 2. Структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки деталей со сложными поверхностями, типа дисковых кулачков с модифицированной системой управления

Станок включает в себя инструмент *11*, совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки *12*, которая получает вращение от шагового гидродвигателя *9*, связанного посредством червячной передачи *16* с круглым столом с заготовкой и управляемого ГЦИ *8*, золотниковая втулка получает вращение от гидромотора *7*.

Сложное формообразующее движение, составленное из элементарных прямолинейных перемещений между продольным перемещением продольного стола *20* и поперечным перемещением верхних салазок *10* с круглым столом с заготовкой *12*, осуществляется гидравлическими внутренними (формообразующими) связями, выполняемыми на основе шагового гидропривода.

Продольное перемещение стола *20* осуществляется от шагового гидродвигателя *26*, кинематически связанного с ним посредством ходового винта *23* через суммирующий механизм *25*, выполненный в виде дифференциала с коническими зубчатыми колесами.

Поперечное перемещение верхних салазок *10* с круглым столом необходимо для воспроизведения требуемой фасонной поверхности кулачка. Перемещение обеспечивается внутренней (формообразующей) связью между продольным столом *20* и верхними салазками *10* и осуществляется от шагового гидродвигателя *14*, на выходном валу которого закреплен сменный копир *13*, преобразующий равномерное дискретное вращение шагового гидродвигателя *14* в неравномерное перемещение верхних салазок *10* посредством зубчатой рейки *15*, зубчатого реечного колеса *17*, жестко закрепленного на ходовом винте *18* поперечной подачи верхних салазок *10*.

Управление ГШД *14* привода поперечной подачи верхних салазок *10* осуществляется ГЦИ *2*, золотниковая втулка которого получает вращение через несилую гитару сменных зубчатых колес *3* от вращающейся золотниковой втулки ГЦИ *4* привода продольного перемещения продольного стола *20*.

Управление ГШД 9 привода вращения круглого стола с заготовкой 12 осуществляется ГГИ 8, золотниковая втулка которого получает вращение через несилую гитару сменных зубчатых колес 5 от вращающейся золотниковой втулки ГГИ 4 привода продольного перемещения продольного стола 20.

Для осуществления круглым столом с заготовкой сложного движения формообразования, вызванного тем, что движение обката составлено из разнородных движений – поступательного перемещения продольного стола 20 и вращательного движения круглого стола и, учитывая, что стол 20 является общим исполнительным звеном, одновременно входящим в группы деления и обката, соединение групп осуществляется с помощью суммирующего механизма 25.

Дополнительное движение сообщается от ГШД 22, кинематически связанного с ходовым винтом 23 продольной подачи стола 20 через червячную передачу 24 и управляемый ГГИ 19, золотниковая втулка которого приводится во вращение от приводного зубчатого колеса 21, жестко закрепленного на ходовом винте 23 продольного перемещения продольного стола 20. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 1 по трубопроводу 6.

На рисунке 3 представлена структурная схема зуборезного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания зубьев конических зубчатых колес со спиральным зубом резьбовой головкой [9] с системой управления от блоков гидрораспределителей, построенной на базе двухкромочного золотника с торцевым распределением рабочей жидкости [10].

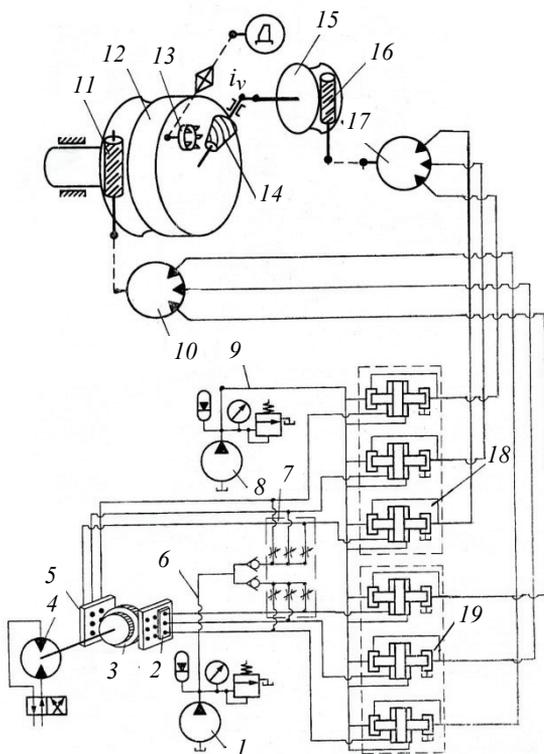


Рис. 3. Структурная схема зуборезного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания зубьев конических зубчатых колес со спиральным зубом резьбовой головкой с системой управления от блоков гидрораспределителей, построенной на базе двухкромочного золотника с торцевым распределением рабочей жидкости

Станок включает в себя инструмент (резьбовая головка) 13, который размещается на люльке 12 и получает вращение от электродвигателя Д через звено на- стройки i_v и заготовку 14, связанную с люлькой 12 гидравлической цепью обката.

Вращение люльки 12 с инструментом 13 осуществляется от шагового гидро- двигателя 10, кинематически связанного посредством червячной передачи 11 с люлькой. Вращение заготовки 14 производится шаговым гидродвигателем 17, кинематически связанным с бабкой изделия посредством червячной передачи 16.

Управление шаговыми гидродвигателями 10 и 17 приводов вращения обкат- ной люльки 12 с инструментом 13 и заготовки 14 осуществляется от блоков тор- цевых гидрораспределителей 18 и 19, которые состоят их трех одинаковых по числу силовых каналов гидравлических распределителей на базе двухкромоч- ного золотника.

Настройка гидравлической внутренней формообразующей цепи на требуе- мое передаточное отношение производится с помощью генератора гидравличе- ских импульсов 3, который представляет собой набор кодирующих дисков, закреп- ленных на общей оси и получающих вращение от отдельного гидромотора 4. Число таких кодирующих дисков в генераторе определяет общее число передат- очных отношений гидравлической внутренней (формообразующей) цепи. Генера- тор гидравлических импульсов формирует гидравлические импульсы давления и распределяет их по рабочим камерам шаговых гидродвигателей, периодически в определенной последовательности открывая и закрывая рабочие щели.

Наружная поверхность каждого из кодирующих дисков выполнена таким об- разом, что его выступы при вращении дисков либо перекрывают сопло, либо оста- вляют его свободным, причем один выступ может перекрывать только одну щель, то есть при скважности между выступом и впадиной кодирующего диска должно выполняться соотношение $1/(n-1)$, при этом щели располагаются в кор- пусе генератора импульсов с шагом

$$t_{щ} = t_B \left(m \pm \frac{1}{n} \right),$$

где t_B – шаг выступов кодирующего диска $t_B = \frac{360}{z}$, z – число выступов коди- рующего диска; m – целое число, выбирающееся из условия удобного расположе- ния и подсоединения рабочих щелей к гидролиниям; n – число щелей, соответст- вующее числу каналов ГШД.

При таком расположении рабочих щелей относительно выступов вращающе- гося кодирующегося диска через две оставшиеся непокрытыми щели рабочая жидкость подступает на слив, а одна из щелей постоянно перекрывается высту- пом диска.

В момент, когда выступ вращающегося диска ГГИ находится напротив рабо- чей щели, происходит скачкообразное повышение управляющего давления, в ре- зультате чего осуществляется переключение гидрораспределителя. В момент, ко- гда управляющее давление в одном из каналов увеличивается до максимального, в других, оставшихся не перекрытыми, рабочая жидкость поступает на слив. При отсутствии управляющего сигнала (импульса давления) распределитель находит- ся в левом положении под действием давления питания и усилия пружины с пра- вого торца распределителя.

При достижении управляющим давлением значения, соответствующего точ- ке срабатывания, распределитель начнет перемещаться из своего крайнего левого положения, причем, при срабатывании распределителя давления действует на всю площадь малого торца и перебрасывает распределитель вправо. Левый торец от- крывает напорное сопло, а правый – закрывает слив. При указанном расположе- нии щелей относительно выступов через две оставшиеся незакрытыми щели ра-

бочая жидкость идет на слив, а одна щель всегда перекрывается выступом. В момент, когда выступ вращающегося диска генератора импульсов устанавливается против щели, происходит повышение управляющего давления и, в результате, переключение распределителя в правое положение. В то время, как управляющее давление одного из каналов увеличивается до максимального, в двух других весь расход идет на слив.

Давление питания на вход каждого из гидрораспределителей подается через регулируемый дроссель блока дросселей 7 от насосной установки 1, а затем, в зависимости от положения торцовых гидрораспределителей, по одному из каналов направляется к гидравлическим шаговым двигателям 10 и 17 приводов заготовки и инструмента. Генератор гидравлических импульсов обеспечивает постоянное для данной настройки отношение частот гидравлических импульсов давления, а, следовательно, и частот вращения выходных валов ГШД приводов заготовки и инструмента. Коммутация потоков рабочей жидкости по силовым каналам и рабочим камерам шаговых гидродвигателей зависит от того, какая щель управляющих каналов перекрыта в данный момент выступом вращающегося кодирующего диска ГГИ.

Передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи во внутренней цепи шаговых гидродвигателей 10 и 17 приводов заготовки и инструмента зависит от соотношения частот гидравлических импульсов.

Изменение величины передаточного отношения гидравлической цепи обката (деления) производится перемещением ползушек 2 на корпус ГГИ относительно периферии кодирующих дисков с различным числом выступов. При этом осуществляется коммутация потоков рабочей жидкости по силовым каналам шаговых гидродвигателей в зависимости от того, какая щель из управляющих каналов перекрыта в данный момент времени выступом вращающегося кодирующегося диска ГГИ.

Рабочая жидкость от силовой насосной станции 8 поступает на вход блоков дискретных гидрораспределителей 18 и 19, а затем, в зависимости от положения распределителей, по одному из силовых каналов подается в рабочие камеры шаговых гидродвигателей 10 и 17 приводов заготовки и инструмента.

На рисунке 4 приведена схема резбифрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания цилиндрических винтовых поверхностей переменного шага [8] с модифицированным механизмом приращения шага.

Станок включает в себя инструмент 8, представляющий собой дисковую фрезу с профилем, соответствующим профилю нарезаемой винтовой поверхности, и совершающий вращательное движение от электродвигателя Д1 через звено настройки i_{v1} и заготовку, которая делает вращение (движение круговой подачи) от электродвигателя Д через звено настройки i_v .

Резбифрезерный станок включает в себя следующие кинематические цепи: вращения инструмента (дисковой фрезы); вращения шпинделя с заготовкой (движение круговой подачи); начального шага, связывающую между собой вращение шпинделя с заготовкой и продольное перемещение суппорта с фрезерной головкой от ходового винта продольной подачи; приращения шага винтовой поверхности, связывающую цепь начального шага и суммирующий механизм, задающий закон изменения шага, выполненный в виде коррекционной линейки в комбинации с червячной передачей.

Продольное перемещение суппорта 2 с фрезерной головкой 9, несущей инструмент 8 (цепь начального шага винтовой поверхности) осуществляется от шагового гидродвигателя 1, управляемого генератором гидравлических импульсов 3, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 5, жестко закрепленного на шпинделе заготовки 7.

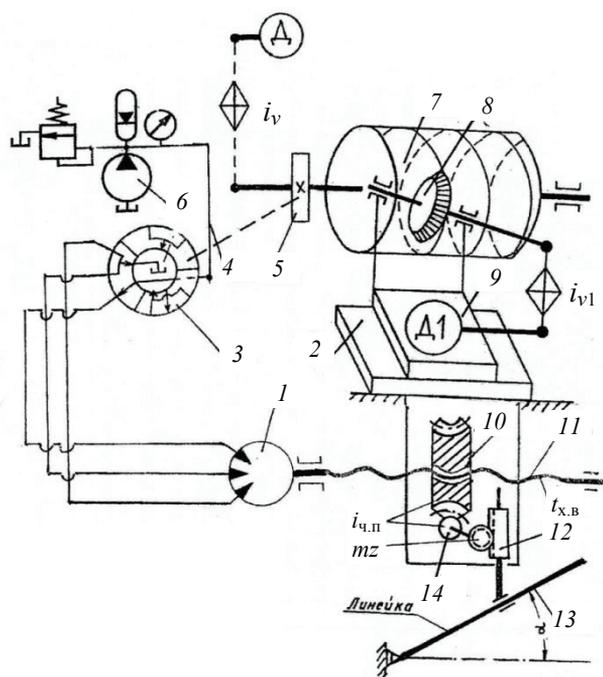


Рис. 4. Структурная схема станка резьбофрезерного с гидравлическими формообразующими связями для нарезания цилиндрических винтовых поверхностей переменного шага с модифицированным механизмом приращения шага

Дополнительное перемещение продольного суппорта с инструментом, необходимое для получения величины приращения шага винтовой поверхности при продольном перемещении суппорта, осуществляется от коррекционной линейки 13, установленной под углом к линии центра станка.

При продольном перемещении продольного суппорта 2 с фрезерной головкой 9 одновременно будет перемещаться в поперечном направлении к линии центров станка зубчатая рейка 12, шарнирно связанная с установленной под углом коррекционной линейкой 13, и поворачивать реечное колесо, кинематически связанное с суммирующим механизмом, выполненным в виде червячной передачи на гайке 10 ходового винта 11.

Рабочая жидкость к генератору гидравлических импульсов поступает от насосной установки 6 по трубопроводу 4.

Заключение

Использование гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода делает возможным построение внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков по модульному принципу, отличительными особенностями которых являются:

– обеспечение конструктивной однородности кинематических связей между конечными звеньями (заготовкой и инструментом) для станков со сложными движениями формообразования, различного технологического назначения и разных типоразмеров;

- обеспечение конструктивной приемственности при создании станков, благодаря типизации конструкций внутренних кинематических цепей на основе гидравлической связи в виде шагового гидропривода;
- уменьшение накопленной погрешности изделия;
- уменьшение металлоемкости и массы станков;
- значительно упрощается кинематическая структура станка за счет исключения до возможного минимума из кинематических цепей всех промежуточных звеньев;
- обеспечение унификации как элементов привода, так и приводов в целом, для станков одного назначения.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 17-48-680787.

Список литературы

1. Колодин, А. Н. Затыловочные станки с гидравлическими формообразующими связями : монография / А. Н. Колодин, В. А. Ванин, А. А. Родина // Deutschland : LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 169 с.
2. Ванин, В. А. Станки с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей / В. А. Ванин, А. Н. Колодин // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2012. – № 7 (184). – С. 30 – 35.
3. Металлорежущие станки с гидравлическими связями на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях / В. А. Ванин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 167 – 176.
4. Применение шагового гидропривода для построения формообразующих цепей металлорежущих станков со сложными движениями формообразования / В. А. Ванин [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – №1 (50). – С. 250 – 259.
5. Ванин, В. А. Резьбообрабатывающие станки с гидравлическими формообразующими связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей переменного шага / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Вестник машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 37 – 45.
6. Ванин, В. А. Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования с внутренними гидравлическими связями / В. А. Ванин, А. Н. Колодин // Технология машиностроения. – 2015. – № 5 (155). – С. 18 – 26.
7. Ванин, В. А. Оптимальное построение структуры внутренних цепей станков на основе гидравлических связей / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, Д. А. Харин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2015. – С. 363 – 368.
8. Vanin, V. A. Modular Design Based on Hydraulic Step Drives for Internal Kinematic Chains in Metal-Cutting Machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – No. 30 (12). – P. 1248 – 1251.
9. Vanin, V. A. Application of Hydraulic Step Drives in Metal-Cutting Machine Tools / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – No. 30 (5). – P. 446 – 450.
10. Vanin, V. A. Kinematic Structure of Metal-Cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – No. 34 (12). – P. 763 – 768.

Construction of Forming Chains of Machine Tools with Complex Forming Movements Based on Hydraulic Synchronous Connections

V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina, V. Kh. Fidarov

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
TSTU, Tambov, Russia; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Keywords: internal formative links; hydraulic pulse generator; hydraulic couplings; hydraulic stepping motor; hydraulic stepper drive; machine tools.

Abstract: The paper explores the possibility of constructing internal (forming) chains of metal-cutting machines of various technological purposes in the form of hydraulic synchronous couplings based on a stepper hydraulic drive in order to use the modular principle to improve accuracy, reduce metal intensity, and create a rational design of machine chains.

References

1. Kolodin A.N., Vanin V.A., Rodina A.A. *Zatylovochnyye stanki s gidravli-cheskimi formoobrazuyushchimi svyazyami* [Plugging Machines with Hydraulic Form-Building Links], Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing, 2015, 169 p. (In Russ.)
2. Vanin V.A., Kolodin A.N. [Machines with Hydraulic Internal (Shaping) Connections Based on Stepper Hydraulic Drive for Machining of Helical Surfaces], *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniyami* [Reference book. Engineering journal with attachments], 2012, no. 7 (184), pp. 30-35. (In Russ.)
3. Vanin V.A., Kolodin A.N., Do M.Z., Damap M.M. [Metal-Cutting Machines with Hydraulic Connections on the Basis of a Stepper Hydraulic Drive in Internal (Shaping) Chains], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 167-176. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Vanin V.A., Kolodin A.N., Averin A.S., Khramova N.A. [The use of a Stepper Hydraulic Drive for Constructing Form-Forming Chains of Metal-Cutting Machine Tools with Complex Shape-Forming Movements], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2014, no. 1 (50), pp. 250-259. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. [Cutting Machines with Hydraulic Form-Forming Links Based on Stepper Hydraulic Drive for Machining Variable-Pitch Helical Surfaces], *Vestnik mashinostroyeniya* [Mechanical Engineering Bulletin], 2014, no. 7, pp. 37-45. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Vanin V.A., Kolodin A.N. [Kinematic Structure of Machine Tools with Complex Shaping Movements with Internal Hydraulic Connections], *Tekhnologiya mashinostroyeniya* [Engineering Technology], 2015, no. 5 (155), pp. 18-26. (In Russ.)
7. Vanin V.A., Kolodin A.N., Kharin D.A. *Virtual'noye modelirovaniye, prototipirovaniye i promyshlennyy dizayn: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Virtual Modeling, Prototyping and Industrial Design: Materials International Scientific and Practical Conference], Tambov, 2015, pp. 363-368. (In Russ.)
8. Vanin V.A., Kolodin A.N. Modular Design Based on Hydraulic Step Drives for Internal Kinematic Chains in Metal-Cutting Machines, *Russian Engineering Research*, 2010, no. 30 (12), pp. 1248-1251.
9. Vanin V.A., Kolodin A.N. Application of Hydraulic Step Drives in Metal-Cutting Machine Tools, *Russian Engineering Research*, 2010, no. 30 (5), pp. 446-450.

10. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. Kinematic Structure of Metal-Cutting Machines with Hydraulic Couplings, *Russian Engineering Research*, 2015, no. 34 (12), pp. 763-768.

**Bau von formfertigenden Werkzeugmaschinenketten
mit komplexen Formgebungsbewegungen
auf der Grundlage der hydraulischen Synchronverbindungen**

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit betrachtet, interne (formfertigende) Ketten von metallzerspanenden Werkzeugmaschinen verschiedener technologischer Verwendungszwecke in Form einer hydraulischen synchronen Verbindung auf der Grundlage eines schritthydraulischen Antriebes zu bauen, um das Baukastenprinzip für Erhöhung der Genauigkeit, Reduzierung der Metallkapazität, Schaffung einer rationalen Konstruktion von Maschinenketten zu verwenden.

**Construction des chaînes de formage de machines avec des mouvements
de formage complexes à la base des liaisons synchrones hydrauliques**

Résumé: Est examinée la possibilité de la construction des chaînes internes (formants) des machines-outils de la découpe des métaux à diverses fins technologiques sous la forme d'une connexion synchrone hydraulique à la base de la commande hydraulique pas à pas afin d'appliquer un principe agrégat-modulaire pour augmenter la précision, réduire la capacité métallique, créer une conception rationnelle des chaînes de la machine.

Авторы: *Ванин Василий Агафонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Колодин Андрей Николаевич* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Родина Антонина Александровна* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Фидаров Валерий Хазбиевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.