

УДК 621.9-529.001.2

ПОСТРОЕНИЕ ВНУТРЕННИХ (ФОРМООБРАЗУЮЩИХ) ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

**В.А. Ванин, А.Н. Колодин,
Мань Зунг До, Максвелл Маншак Дамап**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.М. Мордасов

Ключевые слова и фразы: гидравлическая связь; гидравлический шаговый привод; внутренние (формообразующие) цепи; гидравлический шаговый двигатель; генератор гидравлических импульсов; металлорежущий станок.

Аннотация: Рассмотрена возможность построения формообразующих кинематических цепей металлорежущих станков различного технологического назначения в виде унифицированных связей на основе шагового гидропривода, для улучшения точности, снижения металлоемкости; приведены примеры структурных схем станков с гидравлическими связями, построенными по агрегатно-модульному принципу.

Введение

Для изготовления некоторых деталей, таких как некруглые колеса, ходовые винты (червяки) с неравномерным шагом, конические шестерни полуобкатных передач, применяются станки, у которых отношение скоростей взаимосвязанных элементарных движений, создающих сложные формообразующие движения, не остается постоянным.

Ванин Василий Агафонович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; Колодин Андрей Николаевич – ассистент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», e-mail: dekokan@yandex.ru; До Мань Зунг – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; Дамап Максвелл Маншак – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Структура этих станков строится таким образом, чтобы сложное формообразующее движение было составлено из нескольких элементарных движений, одно из которых должно быть обязательно неравномерным. Чаще всего неравномерное вращательное движение получают суммированием равномерного движения с неравномерным, применяя суммирующий механизм и дополнительную внутреннюю кинематическую цепь, которая равномерное движение преобразует в неравномерное.

Для выполнения станком определенного исполнительного движения необходимо наличие кинематической связи между исполнительными звеньями станка и кинематической связи этих звеньев с источником движения. Довольно часто применяют кинематические цепи, движение в которых передается посредством механических звеньев как в цепях главного движения, так и во внутренних (формообразующих) цепях станков, при этом каждая из цепей строится индивидуализировано для каждого типа станка, разного габарита, различной точности [1].

Характеристика механических внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков

К наиболее существенным недостаткам кинематических цепей, составленных из механических звеньев, относятся:

- значительная протяженность и громоздкость кинематических цепей, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов и при больших расстояниях между исполнительными органами станка;

- непостоянная крутильная жесткость кинематических цепей, которая зависит от протяженности цепи, количества и жесткости стыков кинематических пар, составляющих цепь;

- индивидуальное проектирование и построение внутренних кинематических цепей под каждую определенную компоновку станка одного и того же типа и назначения, но разного типоразмера.

На кинематическую точность цепи, составленной из механических звеньев, влияют геометрическая неточность элементов цепи и неточность их взаимного расположения, обусловленная погрешностями обработки и сборки. Большое 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.

Большое значение приобретает влияние крутильной жесткости в винторезных цепях, цепях деления, цепях обката значительной протяженности, при этом цепи становятся громоздкими и не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность, так как повышенное трение, изнашивание постоянно снижают точности кинематических цепей.

При пространственном расположении рабочих органов, большом числе промежуточных подвижных элементов и значительном расстоянии между подвижными рабочими органами жесткие кинематические цепи, составленные из механических звеньев, становятся сложными, что приводит к снижению точности функционально связанных перемещений.

Одним из практически реализуемых способов повышения точности внутренних кинематических цепей и сохранения ее в процессе эксплуата-

ции является сокращение протяженности цепей за счет создания высокоточных приводов, обеспечивающих возможность непосредственного соединения двигателя с заготовкой и инструментом, исключая при этом коробки скоростей и подач, промежуточные механические передачи и звенья.

Такие кинематические связи могут быть выполнены в виде разомкнутого шагового гидропривода, применение которого в цепях металлорежущих станков позволит реализовать управляющие функции с большой точностью.

Применение шагового гидропривода для построения внутренних (формообразующих) цепей станков

Применение гидравлических шаговых приводов объясняется известными достоинствами гидропривода, к которым относятся: малые габариты и масса при высокой силовой напряженности, что обеспечивает малую инерционность подвижных частей; высокое быстродействие и точность воспроизведения взаимосвязанных движений. Применение дискретных устройств позволит значительно упростить систему управления, получить достаточную точность при разомкнутой системе управления за счет однозначного соответствия между числом и частотой управляющих импульсов и величиной и частотой обработки дискретных перемещений (угловых или линейных) на выходе исполнительного органа. В качестве силового исполнительного органа в них используется специальный гидравлический шаговый двигатель (ГШД), соединенный системой трубопроводов со звеном настройки, который преобразует энергию жидкости в гидравлические импульсы и распределяет их в определенной последовательности по рабочим камерам шагового гидродвигателя, а выходной вал ГШД отрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности [2–5].

Работа ГШД зависит от числа и последовательности управляющих импульсов, распределение которых по силовым рабочим камерам шагового гидродвигателя осуществляется с помощью различного вида коммутирующих устройств, причем каждому управляющему импульсу соответствует определенный фиксированный угол поворота выходного звена ГШД. Скорость вращения и суммарный угол поворота выходного вала пропорциональны частоте и количеству поданных импульсов соответственно.

Передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи зависит от соотношения частот гидравлических импульсов, формируемых генератором гидравлических импульсов, и подаваемых к исполнительным шаговым гидродвигателям, и будет определяться числом рабочих щелей на вращающихся золотниковых втулках генераторов гидравлических импульсов.

Учитывая, что для воспроизведения образующей линии по методу обката между перемещениями рабочих органов – заготовки и инструмента необходимо осуществить требуемую функциональную зависимость, а

для получения формообразующего движения необходимо обеспечить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом, то из всех видов шаговых гидродвигателей наиболее приемлемыми для построения внутренних кинематических цепей, выполненных в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода, являются двигатели с механической редукцией шага.

Используя высокие компоновочные свойства гидравлического шагового привода, представляется возможным применить принципиально новый подход к построению внутренних кинематических цепей, требующих точного взаимосвязанного движения заготовки и инструмента, используя для этого гидравлические связи и осуществить на их основе агрегатно-модульный принцип построения внутренних цепей металлорежущих станков, позволяющий не конструировать кинематические цепи станков различного назначения с большим различием характеристик каждый раз заново, а компоновать их из небольшого, экономически обоснованного, количества типоразмеров одинаковых типовых (или стандартных) общих блоков (модулей), имеющих функциональную и конструктивную завершенность, с использованием ограниченного числа деталей и агрегатов индивидуального проектирования и изготовления.

Используя свойства частотного регулирования скорости исполнительных органов гидравлического шагового привода, представляется возможным гидравлические связи применить в кинематических внутренних цепях металлорежущих станков, имеющих сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые механические цепи значительной протяженности, где необходимо обеспечить жесткую связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента, а также в тяжелых и особо точных станках, где наличие тяжело нагруженных длинных силовых кинематических цепей, подверженных значительным механическим и температурным деформациям и износу, требует применения громоздких, имеющих низкий КПД механических устройств.

Ниже рассмотрены структурные схемы станков различного технологического назначения, внутренние кинематические цепи которых построены с использованием гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода, где в качестве силового органа применяются шаговые гидродвигатели с механической редукцией шага и различными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

Построение внутренних (формообразующих) цепей станков различного технологического назначения на основе гидравлических связей

На рисунке 1 представлена структурная схема токарно-копировального станка с внутренними гидравлическими связями для обработки фасонных поверхностей деталей вращения с системой управления от блоков гидрораспределителей, построенной на базе двухкромочного золотника с торцовым распределением рабочей жидкости [6].

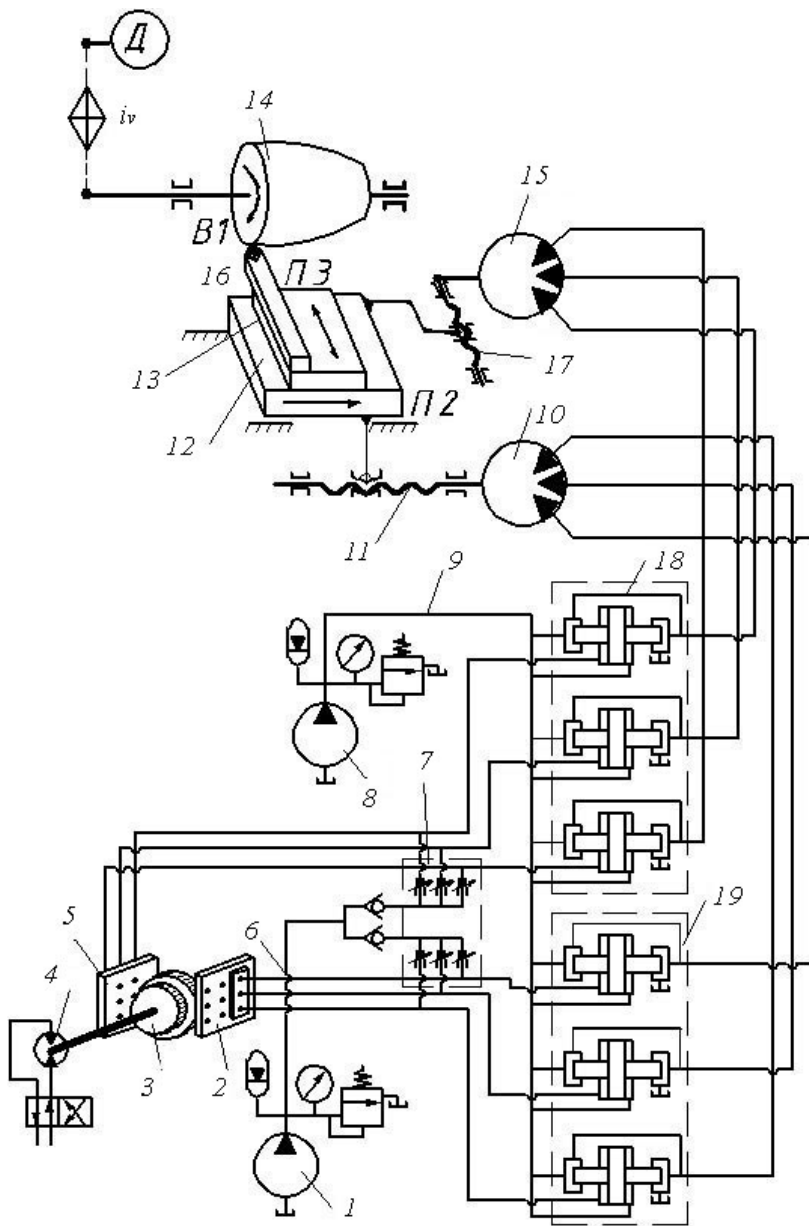


Рис. 1. Структурная схема токарно-копировального станка с внутренними гидравлическими связями

Станок включает в себя заготовку 14, совершающую вращательные движения $B1$ от электродвигателя $Д$ через звено настройки i_v , инструмент 16, совершающий сложное исполнительное движение, составленное из равномерного прямолинейного перемещения $П2$ в продольном направлении и неравномерного поперечного перемещения резца $П3$ в зависимости от продольного перемещения $П2$ продольного суппорта 12. Продольное перемещение $П2$ продольного суппорта осуществляется от шагового гидродвигателя 10, кинематически связанного с суппортом посредством ходового винта 11 продольного перемещения.

Поперечное перемещение резца *16* осуществляется от шагового гидродвигателя *15*, кинематически связанного с суппортом *13*, посредством ходового винта *17* поперечной подачи.

Управление шаговыми гидродвигателями *10* и *15* приводов продольной (задающей) и поперечной (следящей) подач осуществляется от блоков торцовых гидрораспределителей *18* и *19*, которые состоят из трех одинаковых (по числу силовых каналов) гидравлических распределителей с торцовым распределением рабочей жидкости, выполненных на базе двухкромочного золотника.

Настройка гидравлической внутренней (формообразующей) цепи на требуемое передаточное отношение производится с помощью генератора гидравлических импульсов *3*, который представляет собой набор кодирующих дисков, закрепленных на общей оси и получающих вращение от отдельного гидромотора *4*. Количество таких кодирующих дисков в генераторе определяет общее число передаточных отношений гидравлической внутренней (формообразующей) цепи. Генератор 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 образом, что его выступы при вращении дисков либо перекрывают сопло, либо оставляют его свободным, причем один выступ может перекрывать только одну щель.

Наружная поверхность кодирующего диска и рабочая щель (сопло) образуют управляемый дроссель, а пространство между соплом и постоянным дросселем образует междроссельную камеру, давление в которой зависит от величины зазора между соплом и наружной поверхностью кодирующего диска.

В момент, когда выступ вращающегося диска генератора гидравлических импульсов находится напротив рабочей щели, происходит скачкообразное повышение управляющего давления, в результате чего происходит переключение гидрораспределителя.

Когда управляющее давление в одном из каналов увеличивается до максимального, в других каналах, оставшихся непокрытыми, рабочая жидкость поступает на слив. При отсутствии управляющего сигнала (импульса давления) распределитель находится в левом положении под действием давления питания и усилия пружины с правого торца распределителя.

При достижении управляющим давлением значения, соответствующего точке срабатывания, распределитель начинает перемещаться из своего крайнего левого положения, причем, при срабатывании распределителя давление питания действует на всю площадь малого торца и перебрасывает распределитель вправо. Левый торец открывает напорное сопло, а правый торец закрывает слив. При указанном расположении щелей относительно выступов через две оставшиеся незакрытыми щели рабочая 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 происходит переключение распределителя в правое положение.

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 15 приводов инструмента.

Генератор гидравлических импульсов обеспечивает постоянное для данной настройки отношение частот гидравлических импульсов давления, а следовательно частот вращения выходных валов гидравлических шаговых двигателей приводов заготовки в продольном и поперечном направлениях.

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 генератора гидравлических импульсов.

Передаточные отношения между исполнительными органами гидравлической связи во внутренней цепи – шаговыми гидродвигателями 10 и 15 приводов заготовки и инструмента зависят от соотношения частот гидравлических импульсов.

Изменение величины передаточного отношения гидравлической цепи обката (деления) производится перемещением ползушек 2 на корпусе генератора гидравлических импульсов относительно периферии кодирующих дисков с различным числом выступов.

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 15 приводов инструмента.

На рисунке 2 представлена структурная схема резьбонарезного станка с гидравлическими связями во внутренней цепи для нарезания конических винтовых поверхностей переменного шага [7].

Станок включает в себя заготовку 9, совершающую вращательное движение от электродвигателя D через звено настройки i_s и связанную винторезной цепью с инструментом 10.

Перемещение продольного суппорта 13 с инструментом осуществляется от шагового гидродвигателя 1, кинематически связанного с ходовым винтом 15 продольной подачи суппорта и управляемого генератором гидравлических импульсов 4, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8, закрепленного на шпинделе заготовки.

Поперечное перемещение резцовой каретки 11 с инструментом, связанное определенной зависимостью с продольным перемещением продольного суппорта, осуществляется от шагового гидродвигателя 14, кинематически связанного с ходовым винтом 12 поперечной подачи резцовой каретки и управляемого генератором гидравлических импульсов 2, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от генератора гидравлических импульсов 4, управляемого шаговым гидродвигателем цепи продольного перемещение суппорта 13 через несилую гитару сменных зубчатых колес 3.

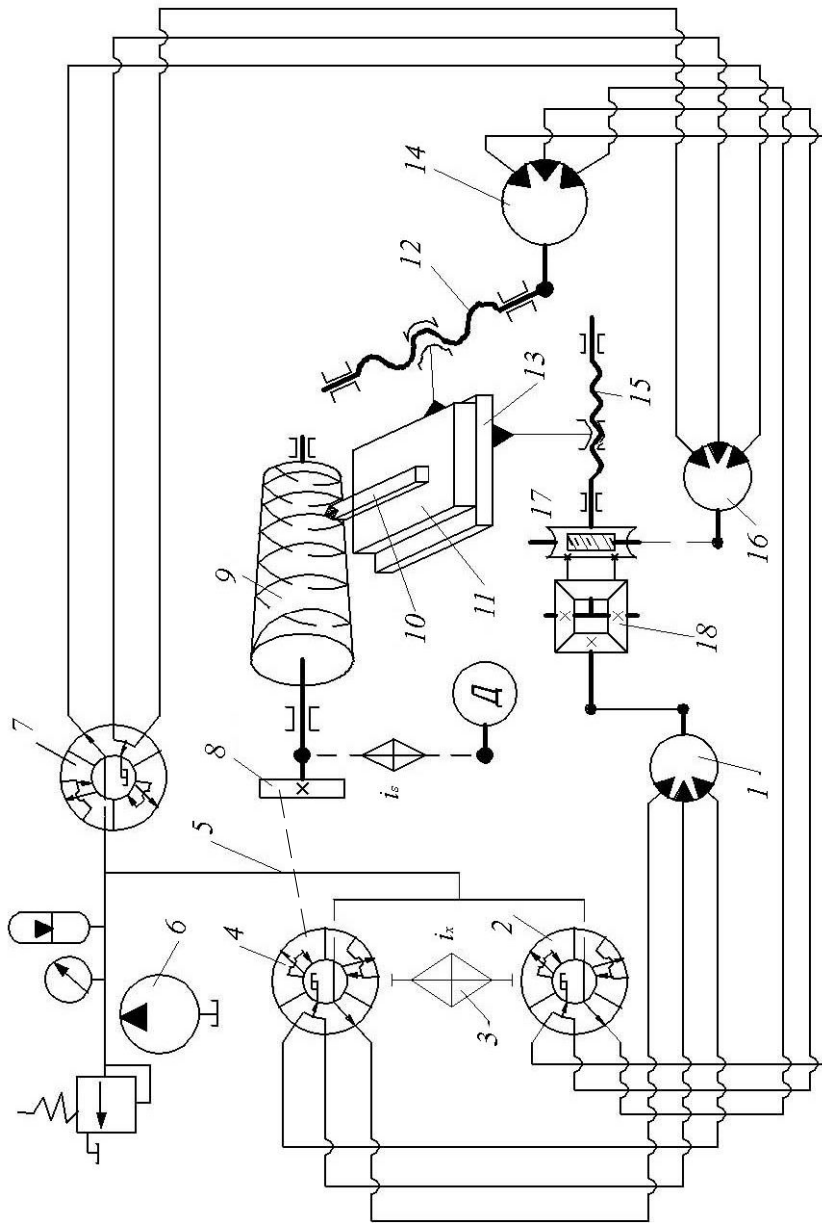


Рис. 2. Структурная схема резбонарезного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания конических резьб с неравномерным шагом

Дополнительное перемещение инструмента, обусловленное приращением шага резьбы осуществляется от шагового гидродвигателя 16, кинематически связанного посредством червячной передачи 17 с суммирующим механизмом 18, выполненном в виде дифференциала из конических колес и управляемого генератором гидравлических импульсов 7, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подводится от насосной установки 6 по трубопроводу 5.

На рисунке 3 представлена структурная схема токарно-затыловочного станка с внутренними (формообразующими) связями для затылования фасонных фрез с винтовыми стружечными канавками [7].

Станок включает в себя заготовку 9, совершающую вращательное движение от электродвигателя D через звено настройки i_v , инструмент 13, взаимодействующий с заготовкой по цепи затылования (деления).

Движение затылования (деления), связывающее между собой вращения заготовки 9 и вращение кулачка затылования 6, от которого получает возвратно-поступательное движение верхняя каретка 20 с инструментом 13, осуществляется от шагового гидродвигателя 4 через суммирующий механизм 3 в виде дифференциала с коническими колесами, кинематически связанного с кулачком затылования 6.

Управление шаговым гидродвигателем 4 осуществляется генератором гидравлических импульсов 7, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение от зубчатого колеса 8, жестко закрепленного на шпинделе изделия 9.

Продольное перемещение продольного суппорта 19 с инструментом 13 связано с вращением заготовки 9 винторезной цепью и осуществляется от шагового гидродвигателя 21, кинематически связанного посредством ходового винта 23, с продольным суппортом 19 и управляемого генератором гидравлических импульсов 10, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8, закрепленного на шпинделе заготовки 9.

Поперечное перемещение верхней каретки суппорта 20 с инструментом 13, необходимое для воспроизведения фасонной поверхности изделия осуществляется от шагового гидродвигателя 15, кинематически связанного с верхней кареткой механизмом, преобразующим равномерное дискретное вращательное движение выходного вала шагового гидродвигателя в неравномерное поперечное перемещение резца 13 и состоящего из кулачка 14 (сменного копира), зубчатое рейки 16 и зубчатого реечного колеса 17, жестко закрепленного на ходовом винте 18 поперечной подачи и жестко связанного с верхней кареткой 20.

Управление шагового гидродвигателя 15 осуществляется генератором гидравлических импульсов 12, золотниковая втулка с рабочими щелями, число которых определяет передаточное отношение гидравлической связи, получающей вращение от вращающейся золотниковой втулки генератора гидравлических импульсов 10 цепи продольного перемещения суппорта 19 посредством несилевой гитары сменных зубчатых колес 11.

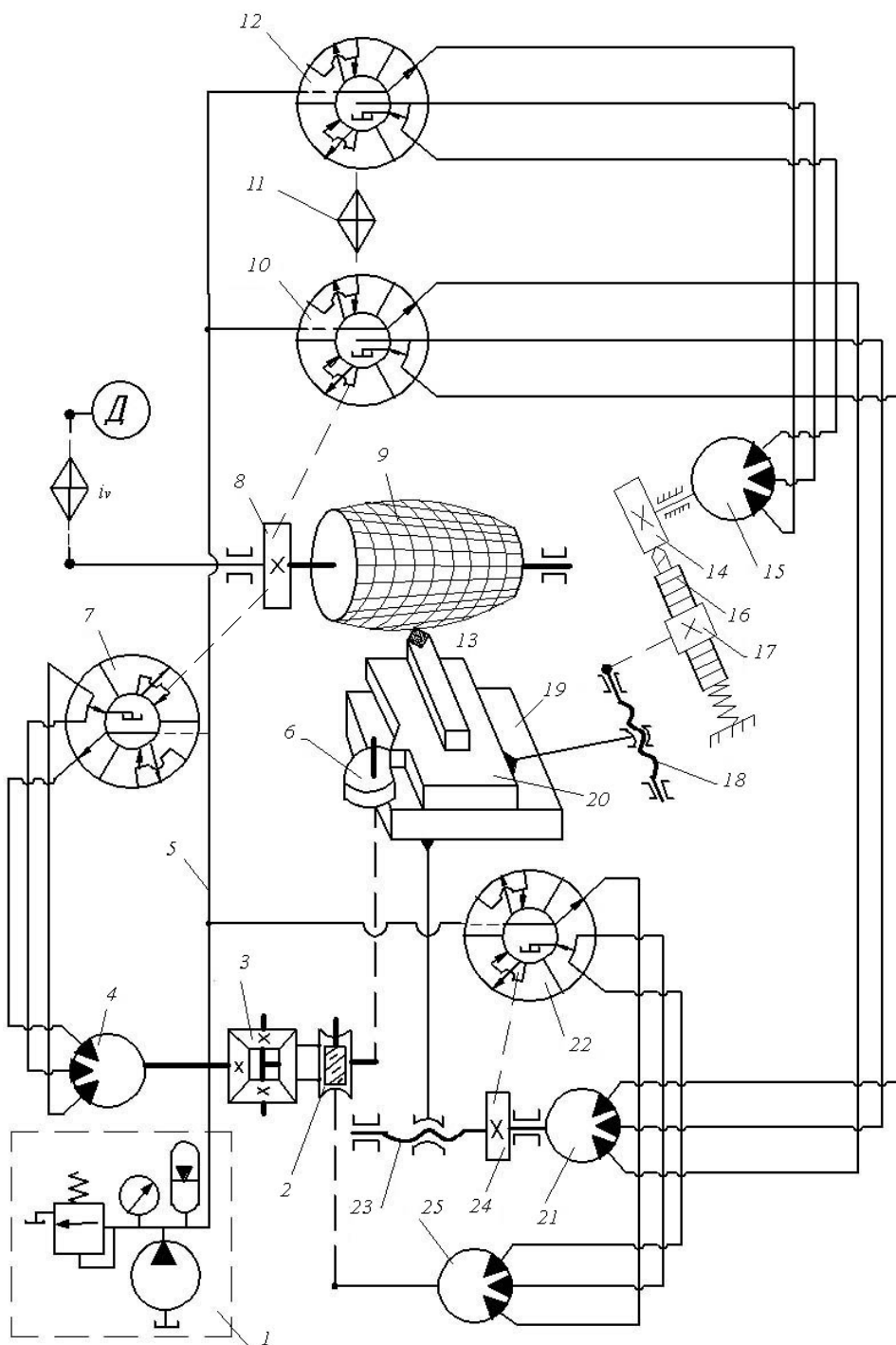


Рис. 3. Структурная схема токарно-затыловочного станка с внутренними гидравлическими связями для затылования фасонных фрез

Дифференциальное движение, необходимое при затыловании изделий с фасонными поверхностями с винтовыми стружечными канавками и обеспечивающее дополнительный поворот кулачку затылования 6, от которого

совершается радиальное возвратно-поступательное движение инструмента при продольном перемещении продольного суппорта 19, осуществляется шаговым гидродвигателем 25, кинематически связанным с кулачком затылования через суммирующей механизм 3 в виде дифференциала с коническими колесами посредством червячной передачи 2 и управляемого генератором гидравлических импульсов 22, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 24 жестко закрепленного на ходовом винте 23 продольной подачи суппорта 19.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов проводится от насосной установки 1 по трубопроводу 5.

Заключение

Построение внутренних (формообразующих) цепей станков в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода позволяет обеспечить конструктивную однородность кинематических цепей для станков различного технологического назначения, дает возможность применить агрегатно-модульный принцип построения внутренних цепей, практическая целесообразность применения которого заключается в следующем:

- сокращается до возможного минимума количество промежуточных звеньев, составляющих внутреннюю кинематическую цепь, что существенно упрощает кинематику станка;

- улучшается технологичность конструкции внутренней цепи и всего станка, создавая более рациональную компоновку цепи при сложном пространственном расположении рабочих органов станка;

- уменьшается металлоемкость и масса узлов станка, что способствует улучшению динамических характеристик;

- общая протяженность кинематической цепи между согласуемыми органами, обуславливающая накопление ошибки из-за увеличения угла закручивания по ее длине в случае применения гидравлической связи сокращается вследствие исключения из цепи составляющих механических звеньев (шестерен, валов и т.п.), что одновременно ведет к повышению жесткости и точности, а также позволяет создать более рациональную компоновку благодаря применению модульного принципа построения цепей, при этом предельно сблизить и удобно расположить узел инструмента и узел заготовки;

- исключается конструктивное и размерное многообразие кинематических цепей, предназначенных для выполнения однотипных функций, что позволяет осуществить проектирование и построение цепей формообразования станков различного назначения и разных типоразмеров на основе унифицированных блоков (модулей);

- построение металлорежущих станков из типовых конструктивно и функционально завершенных блоков позволяет находить новые структурно-компоновочные решения станков разного технологического назначения, при этом конструкции типовых унифицированных узлов могут быть применены при конструировании и построении станков разного технологического назначения.

Список литературы

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М. : Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Ванин, В.А. Применение гидравлических шаговых моторов цепи обката зубодолбежного станка / В.А. Ванин, О.Н. Трифонов // Гидравлические системы металлорежущих станков : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. О.Н. Трифонова. – М., 1977. – Вып. 2. – С. 98–104.
3. Ванин, В.А. Кинематические связи в металлорежущих станках на основе гидравлического шагового привода / В.А. Ванин, С.В. Мищенко, О.Н. Трифонов. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 328 с.
4. Ванин, В.А. Станки с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей / В.А. Ванин, А.Н. Колодин // Справочник. Инженер. журн. с прил. – 2012. – № 7 (184). – С. 30–35.
5. Ванин, В.А. Применение гидравлического шагового привода для построения внутренних цепей металлорежущих станков / В.А. Ванин, А.Н. Колодин // Вестн. машиностроения. – 2010. – № 5. – С. 19–25.
6. Пат. 2087276 Российская Федерация, МПК⁶ В 23 F 5/06, 5/08. Цепь обката зубошлифовального станка / Ванин В.А., Трифонов О.Н. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 94040111/02 ; заявл. 27.10.94 ; опубл. 20.08.97, Бюл. № 23. – 3 с.
7. Пат. 2132256 Российская Федерация, МПК⁶ В 23 В 5/46. Станок для нарезания конических винтовых поверхностей с переменным шагом / Ванин В.А., Евлампиев С.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 97119681/02 ; заявл. 18.11.97 ; опубл. 27.06.99. – Бюл. № 18. – 3 с.

Building of Internal (Shaping) Chains of Metal Cutting Machines with Non-Uniform Motion of Formation Based on Hydraulic Connections

**V.A. Vanin, A.N. Kolodin,
Manh Dung Do, Maxwell Manshak Damap**

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: hydraulic connection; hydraulic stepper motor generator and hydraulic pulse; hydraulic stepper drive internal (shaping) chains; metal cutting machine.

Abstract: The possibility of building shape forming kinematic chains of machines for various technological purposes in the form of unified connections based on the hydraulic step to improve the accuracy of metal reduction has been studied; examples of structural diagrams of machines with hydraulic connections constructed on aggregate-modular type have been examined.

© В.А. Ванин, А.Н. Колодин,
Мань Зунг До, Максвелл Маншак Дамап, 2013