

УДК 621.914.5:62.231.3.001

**МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ  
СВЯЗЯМИ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ГИДРОПРИВОДА  
ВО ВНУТРЕННИХ (ФОРМООБРАЗУЮЩИХ) ЦЕПЯХ**

**В.А. Ванин, А.Н. Колодин, М.З. До, М.М. Дамап**

*Кафедра «Технология машиностроения, металлорежущие станки  
и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; dekorkan@yandex.ru*

**Ключевые слова и фразы:** гидравлические связи; гидравлический шаговый привод; металлорежущие станки; формообразующие цепи.

**Аннотация:** Рассмотрена возможность построения формообразующих кинематических цепей в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода взамен механических в станках со сложными кинематическими связями с целью сокращения протяженности кинематических цепей, повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции станка.

---

**Введение**

В связи с требованиями сокращения времени проектирования и создания металлорежущих станков, экономии трудовых и материальных ресурсов, возможности быстрого и гибкого реагирования на изменение потребности в металлорежущих станках разных классов и типоразмеров, одним из основных направлений развития станкостроения становится модульный принцип построения техники, который предполагает разделение станка на конструктивно независимые модули (блоки), в отличие от разделения его на отдельные узлы, и на этой основе создавать агрегатные конструкции станков и осуществлять модульноагрегатное построение внутренних (формообразующих) цепей станков, при котором различные по возможностям и характеристикам внутренние кинематические цепи станков различного назначения и типоразмеров строятся на основе ограниченной номенклатуры функционально и конструктивно завершенных модулей с использованием ограниченного числа узлов и деталей индивидуального проектирования и изготовления.

Кинематические связи между исполнительными звеньями – заготовкой и инструментом, необходимые для создания движения формообразования в этих станках, осуществляются с помощью механических кинематических цепей, представляющих собой совокупность механических звеньев, передач, механизмов и устройств, соединенных друг с другом и предназначенных для выполнения и координации исполнительных движений заготовки и инструмента [1, 2].

**Особенности формообразующих цепей станков,  
построенных из механических звеньев**

Главным преимуществом кинематических цепей, составленных из механических звеньев, является то, что они обеспечивают весьма точные значения передаточных отношений выходных звеньев и не требуют дополнительных перенастро-

ек в процессе работы. Внутренние цепи с механическими звеньями, при значительной их протяженности, становятся громоздкими и, поэтому не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность.

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

- значительная протяженность, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов (узлов заготовки и инструмента) и при большом расстоянии между исполнительными органами станка;

- непостоянная жесткость, так как крутильная жесткость определяется протяженностью цепи и жесткостью стыков в кинематических парах, а также количеством стыков;

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

Повышение точности внутренних кинематических цепей и сохранение ее при эксплуатации возможно осуществить сокращением протяженности цепей. Это особенно важно в металлорежущих станках, имеющих сложные разветвленные многозвенные механические переналаживаемые цепи значительной протяженности, где необходимо обеспечить жесткую связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента.

На кинематическую точность цепи, составленной из механических звеньев, влияют геометрическая неточность элементов цепи и неточность их взаимного расположения, обусловленные погрешностями обработки и сборки. Существенное влияние на точность таких цепей оказывают температурные деформации и крутильная жесткость, влияние которой присутствует в цепях обката, цепях деления, винторезных цепях значительной протяженности.

Одним из возможных направлений повышения точности внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков и сохранения ее в процессе эксплуатации является сокращение протяженности кинематических цепей за счет применения гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода, обеспечивающего возможность прямого соединения исполнительного двигателя с нагрузкой.

### **Применение для построения внутренних (формообразующих) цепей станков гидравлических связей на основе шагового гидропривода**

Гидравлический шаговый привод составляет новый класс объемных гидроприводов, функциональные свойства которых состоят в том, что они способны устойчиво обрабатывать релейные и импульсные управляющие сигналы с высокой точностью при практически любой встречающейся нагрузке.

Структурно шаговый гидропривод представляет собой систему, состоящую из трех агрегатов (модулей): источника рабочей жидкости (насосная установка), управляющего (коммутирующего) устройства (генератор гидравлических импульсов различной конструкции), которое формирует управляющие импульсы и распределяет их по рабочим камерам шагового гидродвигателя, и гидравлического шагового двигателя (ГШД).

Работа ГШД зависит от числа и последовательности управляющих импульсов, распределение которых по силовым рабочим камерам ГШД 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 управляющих импульсов соответственно.

Поскольку 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 в этом случае из всех видов ГШД наиболее приемлемыми для построения внутренних кинематических цепей, выполненных в виде гидравлических связей на основе ГШД, являются двигатели с механической редукцией шага.

Передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи – заготовкой и инструментом – зависит от соотношения частот управляющих гидравлических импульсов, подаваемых к ГШД, осуществляющим вращение заготовки и инструмента.

Используя свойства частотного регулирования скорости исполнительных органов гидравлического шагового привода, представляется возможным применять гидравлические связи на базе шагового гидравлического привода в кинематических внутренних цепях металлорежущих станков, имеющих сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые механические цепи значительной протяженности, которые должны обеспечить жесткую связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента [3–5].

Используя высокие компоновочные качества гидравлического шагового привода, представляется возможным осуществить построение внутренних (формообразующих) кинематических цепей, требующих точного взаимосвязанного движения заготовки и инструмента, применив для этого гидравлические связи, и на их основе построить внутренние кинематические цепи металлорежущих станков. Применение дискретного шагового привода позволяет существенно упростить систему управления, получить достаточную точность при разомкнутой системе управления за счет однозначного соответствия между количеством и частотой управляющих импульсов и величиной и частотой отработки дискретных перемещений (угловых или линейных) на выходе исполнительного органа.

Внутренние (формообразующие) кинематические цепи, построенные на основе шагового гидропривода в виде гидравлических связей, характеризуются следующими особенностями:

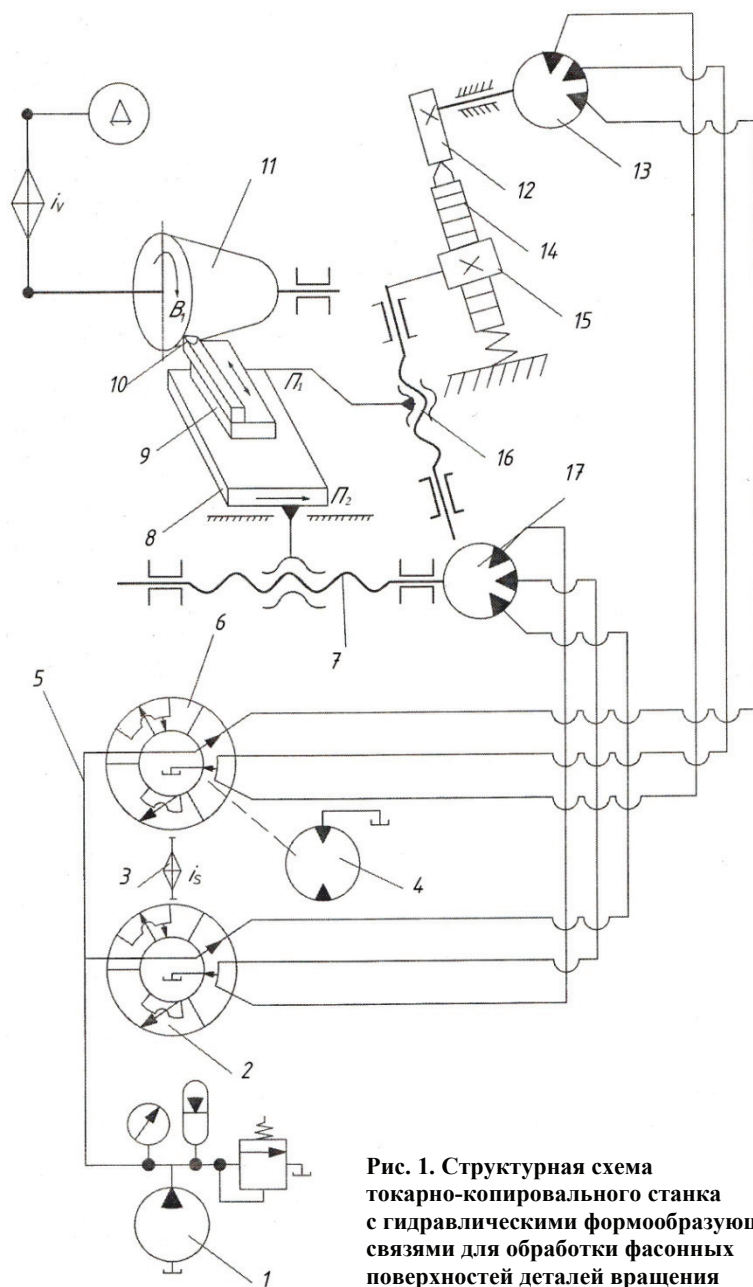
- конструктивной однородностью кинематических связей между исполнительными органами (заготовкой и инструментом) для станков различного технологического назначения и типоразмеров;
- возможностью применения и реализации агрегатно-модульного принципа построения формообразующих цепей станков.

### **Реализация построения формообразующих цепей металлорежущих станков на основе гидравлических связей**

Ниже рассмотрены структурные схемы станков различного технологического назначения, формообразующие кинематические цепи которых построены с использованием гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода по модульному принципу.

На рисунке 1 представлена структурная схема *токарно-копировального станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки фасонных поверхностей деталей вращения.*

Станок включает в себе заготовку  $11$ , совершающую главное вращательное движение от электродвигателя  $D$  через звено настройки  $i_v$ , инструмент  $10$ , совершающий сложное исполнительное движение, составленное из равномерного прямолинейного перемещения  $P_2$  в продольном направлении и неравномерного поперечного перемещения  $P_1$  в зависимости от продольного перемещения  $P_2$  продольного суппорта  $\delta$ . Продольное перемещение  $P_2$  суппорта осуществляется от



**Рис. 1. Структурная схема токарно-копировального станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки фасонных поверхностей деталей вращения**

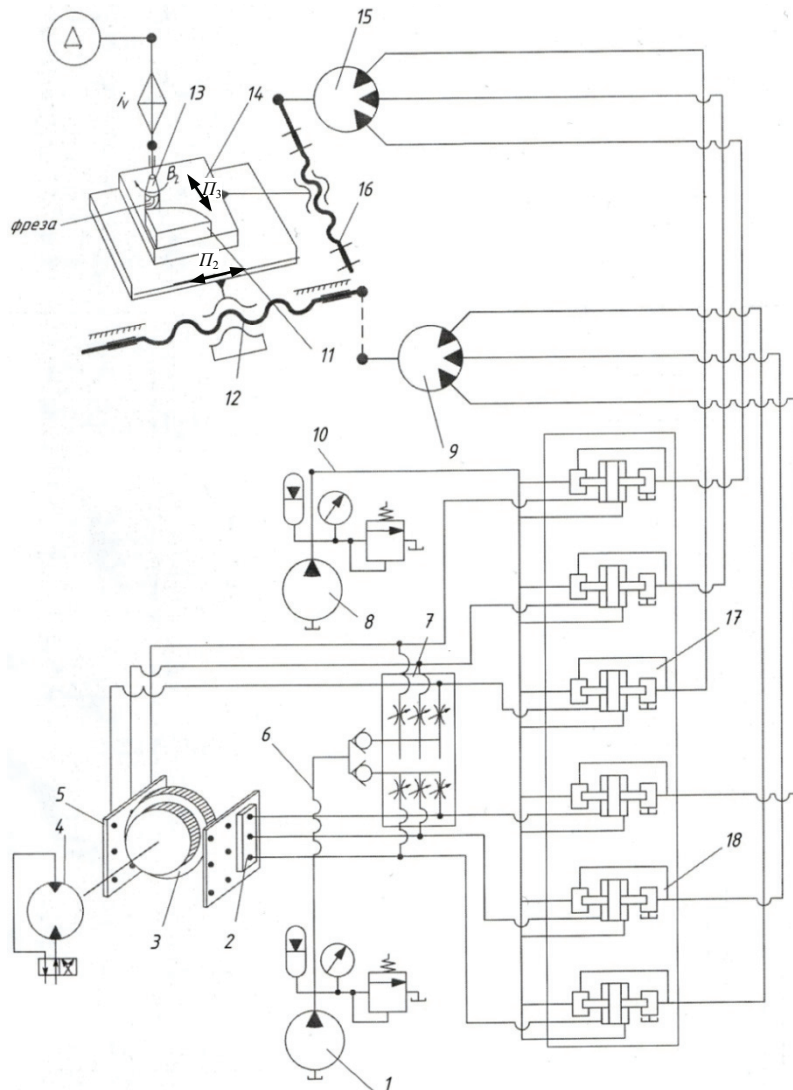
шагового гидродвигателя 17, кинематически связанного с суппортом посредством ходового винта 7 продольной подачи суппорта 8 и управляемого генератором гидравлических импульсов 2, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от золотниковой втулки генератора гидравлических импульсов 6 цепи поперечной подачи верхних салазок 9 суппорта через несилую гитару сменных зубчатых колес 3.

Поперечное перемещение  $\Pi_1$  верхних салазок 9 суппорта с инструментом 10, необходимое для воспроизведения требуемой фасонной поверхности заготовки, обеспечивается внутренней (формообразующей) связью между продольным суппортом и верхними салазками и инструментом 10, и осуществляется от шагового

гидродвигателя 13 с закрепленным на нем сменным копиром 12. Неравномерное перемещение верхних салазок 9 с инструментом 10 происходит за счет узла, состоящего из кулачка 12 (сменного копира), зубчатой рейки 14, зубчатого реечного колеса 15, жестко закрепленного на ходовом винте 16 поперечной подачи верхних салазок 9 с инструментом 10, и управляемого генератором гидравлических импульсов 6, золотниковая втулка которого получает вращение от отдельного гидромотора 4.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов 2 и 5 подводится от насосной установки 1 по трубопроводу 5.

На рисунке 2 представлена структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки деталей со сложными фасонными поверхностями с системой управления от блоков гидрораспределителей, построенных на базе двухкромочного золотника с торцовым распределением рабочей жидкости [6].



**Рис. 2. Структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки деталей со сложными фасонными поверхностями**

Станок включает в себя инструмент 13, совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки  $i_v$ , заготовку 11, установленную на столе 14 станка и совершающую сложное исполнительное движение, составленное из элементарных прямолинейных движений – продольного  $P_2$  (задающая подача) и поперечного  $P_3$  (следящая подача), осуществляемые гидравлическими связями с исполнительными шаговыми гидродвигателями.

Продольное перемещение  $P_2$  продольного стола осуществляется от шагового гидродвигателя 9, кинематически связанного со столом посредством ходового винта 12 продольной подачи.

Поперечное перемещение верхних салазок стола 14 и суппорта с заготовкой 11, необходимое для воспроизведения требуемой фасонной поверхности заготовки, обеспечивается внутренней (формообразующей) связью между продольным суппортом и верхними салазками стола 14 с заготовкой 11 и осуществляется от шагового гидродвигателя 15, кинематически связанного с верхними салазками посредством ходового винта 16 поперечной подачи. Управление шаговыми гидродвигателями 9 и 16 привода продольного суппорта и верхних салазок суппорта осуществляется от блоков торцовых гидрораспределителей 17 и 18, 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 импульсов, формирует гидравлические импульсы давления и распределяет их по рабочим камерам ГШД, 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 лишь одну щель. При таком расположении рабочих щелей относительно выступов вращающегося кодирующего диска через две оставшиеся непокрытыми щели рабочая жидкость поступает на слив, а одна из щелей постоянно перекрывается выступом диска.

В момент, 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 сбрасывания, 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. 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 кана-

лов направляется к гидравлическим шаговым двигателям 9 и 15 приводов заготовки и инструмента.

Генератор гидравлических импульсов обеспечивает постоянное для данной настройки отношение частот гидравлических импульсов давления, а следовательно, частот вращения выходных валов ГШД приводов заготовки и инструмента.

Коммутация потоков рабочей жидкости по силовым каналам и рабочим камерам ГШД зависит от того, какая щель управляющих каналов перекрыта в данный момент выступом вращающегося кодирующегося диска генератора гидравлических импульсов.

Передаточные отношения между исполнительными органами гидравлической связи во внутренней цепи шаговыми гидродвигателями 9 и 15 приводов заготовки и инструмента зависят от соотношения частот гидравлических импульсов, формируемых генератором и распределяемых по рабочим камерам исполнительных ГШД, и определяется количеством гидравлических импульсов, подаваемых за один оборот блока кодирующих дисков генератора.

Изменение величины передаточного отношения гидравлической цепи обката (деления) производится перемещением ползушек 2 на корпус генератора гидравлических импульсов относительно периферии кодирующих дисков с различным числом выступов, осуществляя при этом коммутацию потоков рабочей жидкости по силовым каналам ГШД в зависимости от того, какая щель из управляющих каналов перекрыта в данный момент времени выступом вращающегося выступающего диска генератора.

Рабочая жидкость от силовой насосной станции 8 поступает на вход блоков дискретных гидрораспределителей 17 и 18, а затем, в зависимости от положения распределителей, по одному из силовых каналов подается в рабочие камеры шаговых гидродвигателей 9 и 15 приводов заготовки и инструмента.

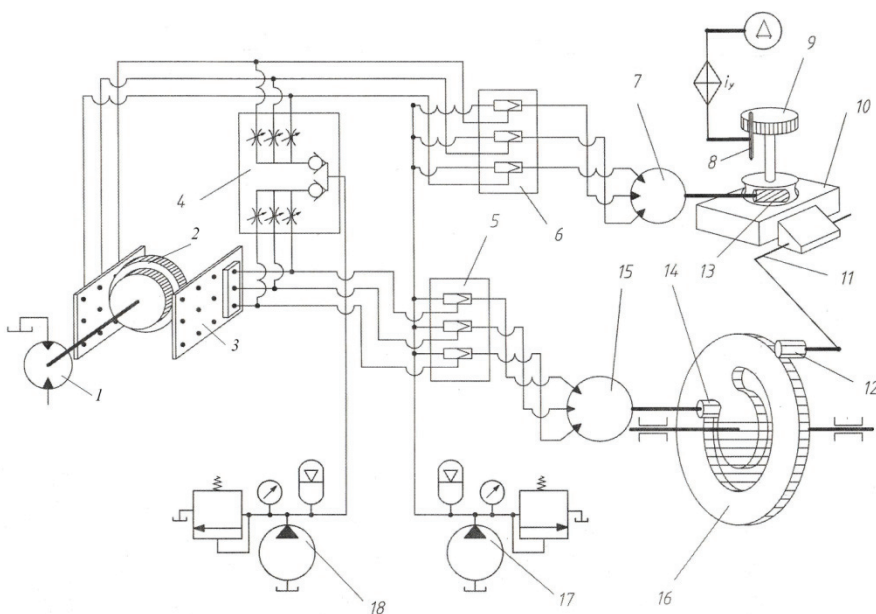
На рисунке 3 представлена структурная схема *зубошлифовального станка с внутренними гидравлическими связями для обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес* [7].

Станок включает в себя инструмент 8, который совершает вращение от электродвигателя Д через звено настройки  $i_v$ .

Гидравлическая цепь обката, связывающая вращение заготовки 9, установленной на круглом столе и поступательное перемещение прямоугольного стола 10, обеспечивает в процессе шлифования воспроизведение зацепления зубчатого колеса с зубчатой рейкой. Цепь обката обеспечивает одновременное вращение круглого стола с установленной на нем заготовкой 9 от ГШД 7 посредством червячной передачи 13, кинематически связанной с круглым столом и прямолинейное поступательное перемещение прямоугольного стола 10 от ГШД 15, который через шестерню 14, находящуюся в зацеплении с внутренним периметром составного колеса 16, вращает ходовой винт 11 продольной подачи, от которого осуществляется продольное перемещение стола с заготовкой.

Управление ГШД 7 и 15 привода вращения заготовки 9 и составного колеса 16 осуществляется блоками гидрораспределителей 5 и 6 соответственно, а количество гидрораспределителей в каждом блоке определяется числом рабочих камер ГШД. Настройка цепи обката на требуемое передаточное отношение производится генератором гидравлических импульсов 2, представляющим собой набор кодирующих дисков закрепленный на общей оси и получающим вращение от отдельного гидромотора 1.

Рабочая жидкость от силовой насосной станции 17 поступает на вход блоков дискретных гидрораспределителей 5 и 6, а затем, в зависимости от положения гидрораспределителей, по одному из силовых каналов подается в рабочие камеры ГШД 7 и 15 приводов вращения заготовки и составного колеса.



**Рис. 3. Структурная схема зубошлифовального станка с внутренними гидравлическими связями для обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес**

Передаточное отношение цепи между исполнительными ГШД 7 и 15 будет определяться количеством гидравлических импульсов, поданных к ним за один оборот блока кодирующих дисков генератора гидравлических импульсов.

Генератор гидравлических импульсов обеспечивает постоянное для данной настройки соотношение частот поступающих импульсов давления, а, следовательно, частот вращения выходных валов ГШД. Изменение передаточного отношения цепи обката производится перемещением ползушек 3 на корпусе генератора гидравлических импульсов относительно периферии кодирующего диска с разным числом выступов, осуществляя при этом коммутацию потоков рабочей жидкости по силовым каналам в зависимости от того, какая щель управляющих каналов перекрыта в данный момент выступом вращающегося диска генератора импульсов.

Рабочая жидкость для получения управляющих импульсов для гидрораспределителей с торцовым распределением рабочей жидкости поступает от насосной установки 18, через блок постоянных дросселей 4.

### Заключение

Использование гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода делает возможным построение внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков по модульному принципу, внедрение которого позволяет построить различные по характеристикам и возможностям внутренние кинематические цепи станков различного технологического назначения и типов на основе ограниченной номенклатуры функционально и конструктивно завершённых блоков (модулей) с использованием ограниченного числа узлов и деталей индивидуального проектирования и изготовления. Гидравлические связи во внутренних цепях станков, построенные по модульному принципу, обладают положительными качествами, отличными от традиционных механических связей.

Обеспечивается конструктивная однородность внутренних (формообразующих) кинематических цепей между конечным звеньями – заготовкой и инстру-

ментом для станков различного технологического назначения и разных типоразмеров, в которых требуется осуществлять жесткую кинематическую связь между инструментом и заготовкой.

Уменьшается металлоемкость и масса станка за счет исключения до возможного минимума промежуточных звеньев, составляющих механическую цепь; обеспечивается унификация как элементов привода, так и приводов в целом для станков одного назначения по отдельным координатам, так и для станков различного технологического назначения разных типоразмеров; сокращается общая протяженность кинематической цепи между согласуемыми органами; значительно упрощается кинематическая структура станка за счет исключения до возможного минимума из кинематических цепей всех промежуточных звеньев.

#### *Список литературы*

1. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М. : Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Ванин, В.А. Кинематическая структура зуборезных станков с гидравлическими внутренними связями на основе шагового гидропривода для нарезания зубьев некруглых колес / В.А. Ванин, А.Н. Колодин // СТИН – Станки Инструмент. – 2008. – № 12. – С. 2–10.
3. 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.
4. Кинематическая структура затыловочных станков с гидравлическими (внутренними) связями на основе шагового гидропривода / Ванин В.А. [и др.] // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2011. – № 1. – С. 30–38.
5. Ванин, В.А. Кинематическая связь в металлорежущих станках на основе гидравлического шагового привода / В.А. Ванин, С.В. Мищенко, О.А. Трифонов. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 328 с.
6. Пат. 2131795 Российская Федерация МПК 6 В 23 F 5/08. Зубошлифовальный станок с гидравлическими связями для цилиндрических зубчатых колес / Ванин В.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 96119044/02 ; заявл. 24.09.1996 ; опубл. 20.06.1999. – Бюл. № 17. – 2 с.
7. Пат. 2087276 Российская Федерация МПК 6 В 23 F 5/06, 5/08. Цепь обката зубошлифовального станка / Трифонов О.Н., Ванин В.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 94040111/02 ; заявл. 27.10.1994 ; опубл. 20.08.1997. – Бюл. № 23. – 2 с.

---

## **Metal-Cutting Machines with Hydraulic Connections on the Basis of Hydraulic Stepper Drive in Internal (Shaping) Chains**

**V.A. Vanin, A.N. Kolodin, M.D. Do, M.M. Damap**

*Department "Technology of Mechanical Engineering, Metal-Cutting Machinery and Instruments", FGBOU VPO "TSTU"; dekorkan@yandex.ru*

**Key words and phrases:** hydraulic connection; hydraulic stepper drive; metal-cutting machinery; shaping circuit.

**Abstract:** The paper explores the possibility of constructing internal kinematic chains in the form of hydraulic connections on the basis of the hydraulic drive stepper

groove processing tools to improve the accuracy by reducing the extent of kinematic chains, reducing the metal, creating a rational design of the machine using a modular approach to the design and construction of kinematic chains machines.

---

### **Metallschneidene Maschinen mit den hydraulischen Bindemittel auf Grund des schrittweisen Hydraulikantriebes in den inneren (formbildenden) Ketten**

**Zusammenfassung:** Es ist die Möglichkeit des Baus einer prägenden kinematischen Ketten in Form von hydraulischen Bindemittel auf Schrittmotor anstelle einer hydraulischen Maschine mit den komplizierten kinematischen Beziehungen mit dem Ziel der Erhaltung der Ausdehnung der kinematischen Ketten, der Erhöhung der Genauigkeit, des Schaffens des rationalen Designs der Maschine betrachtet.

---

### **Machines-outils découpeuses avec des liens hydrauliques à la base de la commande pas à pas dans les réseaux intérieurs (de formation)**

**Résumé:** Est examinée la possibilité de la construction des réseaux cinématiques de formation en vue de liens hydrauliques à la base de la commande hydraulique en échange de ceux mécaniques dans les machines-outils avec des liens complexes cinématiques, l'augmentation de la précision, la diminution de la capacité métallique, la création de la construction rationnelle de la machine.

---

**Авторы:** *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»; *До Мань Зунг* – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; *Даман Максвел Маншак* – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

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

---