

УДК 621.914.3:62.231.3.05

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ  
СТАНКОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СВЯЗАМИ НА ОСНОВЕ  
ШАГОВОГО ГИДРОПРИВОДА ВО ВНУТРЕННИХ  
(ФОРМООБРАЗУЮЩИХ) ЦЕПЯХ**

**В.А Ванин, Нгуен Нгок Хай**

*Кафедра «Технология машиностроения, металлорежущие станки  
и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;  
trngochai@yahoo.com*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** гидравлическая связь; гидравлический шаговый привод; внутренняя (формообразующая) цепь.

**Аннотация:** Рассмотрена возможность построения внутренних (формообразующих) кинематических цепей металлорежущих станков различного технологического назначения в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода с целью повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции станка, используя агрегатно-модульный принцип.

---

Одним из важнейших показателей качества металлорежущих станков, который существенно влияет на все критерии работоспособности их механизмов и узлов, а следовательно и на выходные показатели станков: материалоемкость, быстроходность, надежность и долговечность, является точность. Точность металлорежущих станков в решающей степени определяет точность изделий, требования непрерывного повышения к которой и сохранения ее во времени постоянно возрастают.

Повышение точности станков существенно улучшает их качество, но увеличивает стоимость, поэтому установление оптимального уровня точности является задачей, имеющей наибольшее технико-экономическое значение.

Для получения в станке определенного исполнительного движения необходимо создать кинематическую связь между исполнительными звеньями станка – заготовкой и инструментом – и кинематическую связь этих звеньев с источником движения. Эти связи в большинстве случаев осуществляются с помощью механических звеньев как в цепях главного движения и подачи, так и во внутренних (формообразующих) цепях станков, при этом каждая из цепей строится как индивидуализированная конструкция для каждого типа станка разного габарита и различной точности [1].

Оценка механических формообразующих цепей станков производится по критерию точности.

К наиболее существенным недостаткам кинематических механических цепей относятся:

- значительная протяженность и громоздкость, 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;

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

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.

Особенно большое значение приобретает влияние крутильной жесткости в винторезных цепях резьбообрабатывающих станков, цепях деления, цепях обката зубообрабатывающих станков значительной протяженности, при этом цепи не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность, так как повышенное трение, изнашивание приводят к ее постоянному снижению.

При сложном пространственном расположении исполнительных органов станка – узел заготовки и узел инструмента – кинематические цепи, составленные из механических звеньев, становятся протяженными, многозвенными, громоздкими, что приводит к усложнению цепи и станка, а также к снижению точности функционально связанных линейных или угловых перемещений.

При рациональном построении внутренних кинематических цепей станков достижение высокой кинематической точности может быть реализовано одним из следующих способов.

1. Уменьшение отдельных составляющих суммарной погрешности, которое возможно осуществить следующими средствами:

- обеспечением необходимой и достаточной точности делительных червячных передач;

- обеспечением необходимой точности промежуточных звеньев кинематических цепей формообразования (зубчатые колеса, подшипники и т.п.);

- рациональным построением кинематической цепи с целью уменьшения влияния погрешности ее элементов, для этого кинематическую цепь целесообразно составлять из возможно меньшего числа промежуточных звеньев, так как их погрешности суммируются.

2. Выбор такой кинематической цепи и ее звеньев, которые обеспечивают минимальное влияние этих погрешностей и значительное уменьшение отдельных составляющих суммарной погрешности кинематической сети.

Для обеспечения высокой точности функционально связанных перемещений все элементы кинематических цепей (зубчатые колеса, ходовые винты, червячные колеса и др.) должны быть выполнены с высокой точностью. Конструкция опор должна исключать биение валов и ходовых винтов в радиальном и осевом направлениях. Конечные звенья кинематической цепи во всех случаях монтируются на опорах качения высокой точности.

При проектировании и построении кинематических цепей, осуществляющих точные функционально связанные перемещения, необходимо предусмотреть меры для устранения зазоров между элементами кинематической цепи, особенно в конечных звеньях – в винтовых парах и червячных передачах.

Использование кинематических цепей, составленных из механических звеньев, для осуществления функциональной связи между заготовкой и инструментом не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, а особенно построению их по агрегатно-модульному принципу в станках различного типоразмера, при внедрении которого обеспечивается:

– унификация как элементов привода, так и приводов в целом по отдельным координатам в станках одного назначения, но разного типоразмера и различного технологического назначения;

– максимальное исключение до возможного минимума из состава кинематических цепей всех промежуточных зубчатых передач, валов, подшипников и т.п., в цепи остаются обязательно лишь прецизионные конечные механические звенья в виде червячных или винтовых передач, на которые назначается максимальная редукция для снижения степени влияния на точность цепи промежуточных передач.

Все это свидетельствует о том, что известные традиционные методы построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе механических связей и повышение 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 этом направлении приводят к существенному повышению стоимости станка. Особенно это актуально применительно к станкам, имеющим сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые цепи значительной протяженности, которые должны обеспечивать жесткую функциональную связь для создания точных взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента, когда наличие тяжело нагруженных длинных силовых кинематических цепей, подверженных значительным механическим и температурным деформациям и износу, требует применения громоздких, имеющих низкий КПД механических устройств. К таким цепям относятся винторезные цепи в резьбообрабатывающих станках, цепи обката, деления, дифференциальные в зуборезных станках для обработки зубьев цилиндрических и конических зубчатых колес, цепи подач различного назначения (радиальная, тангенциальная, диагональная) в зубофрезерных станках.

### **Повышение точности формообразующих цепей за счет сокращения их протяженности**

Повышение точности внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков и сокращение ее в процессе эксплуатации рационально осуществить за счет сокращения протяженности кинематических цепей, благодаря применению гидравлических связей в виде высокоточного дискретного шагового гидравлического привода, который обеспечивает высокую точность согласования угловых и линейных перемещений и возможность прямого непосредственного соединения исполнительного шагового гидродвигателя с нагрузкой, исключая при этом промежуточные механические передачи, редукторы, коробки подач. Структурно шаговый гидропривод представляет собой систему из трех агрегатов (блоков): источника рабочей жидкости, управляющего (коммутирующего) устройства, которое формирует управляющие импульсы и распределяет их в определенной последовательности по рабочим камерам шагового гидродвигателя, силового исполнительного гидравлического шагового двигателя (ГШД) [2, 3].

Работа ГШД зависит от количества и последовательности поступления управляющих импульсов, формирование и распределение которых осуществляется с помощью различного типа коммутирующих устройств, при этом каждому управляющему импульсу соответствует определенный фиксированный угол поворота выходного вала ГШД, соединенного с исполнительным звеном-заготовкой и инструментом.

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 конструкций шаговых гидродвигателей наиболее приемлемыми для построения внутренних кинематических цепей, выполненных в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода, являются двигатели с механической редукцией шага.

При использовании во внутренних кинематических цепях в качестве силового органа шаговых гидродвигателей, связь между заготовкой и инструментом осуществляется благодаря тому, что расход рабочей жидкости посредством рабочих щелей распределительного устройства преобразуется в определенную последовательность гидравлических импульсов, которые распределяются по силовым камерам шагового гидродвигателя, при этом каждому из них соответствует определенный угол поворота выходных валов ГШД, пропорциональный числу импульсов, а скорость вращения – частоте следования управляющих импульсов.

Передаточные отношения между рабочими исполнительными органами станка – заготовкой и инструментом – при применении гидравлической связи зависят от соотношения частот управляющих гидравлических импульсов, поступающих к шаговым гидродвигателям привода заготовки и инструмента.

### **Построение формообразующих цепей станков на основе шагового гидропривода**

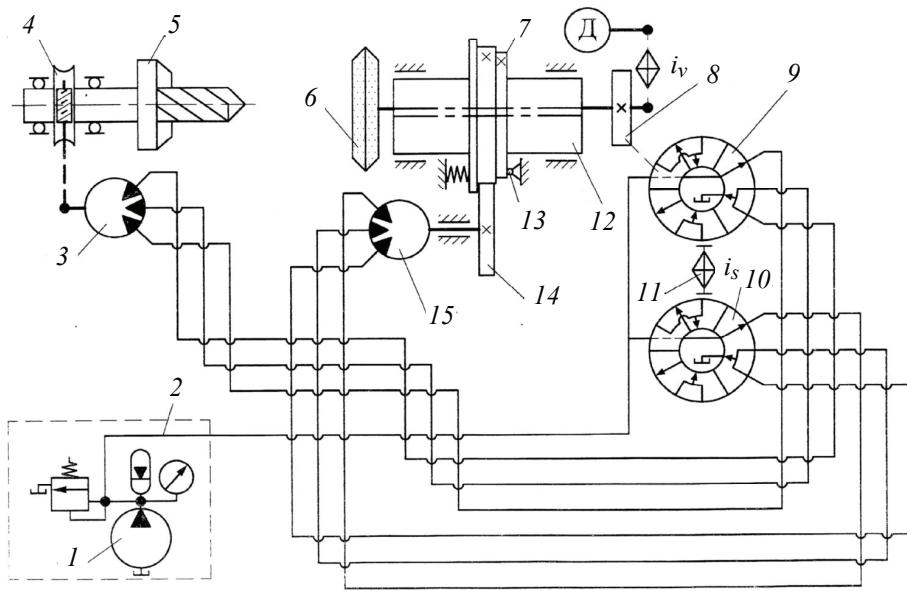
Ниже рассмотрены структурные схемы станков различного технологического назначения, внутренние (формообразующие) цепи которых построены в виде гидравлических связей с исполнительными шаговыми гидродвигателями с различными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

На рисунке 1 представлена структурная схема заточного станка с внутренними гидравлическими связями для заточки сверл и зенкеров [4].

Станок включает в себя инструмент (шлифовальный круг) 6, совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через настройки  $i_v$ . Вращение шпинделя 5 с заготовкой осуществляется от гидравлического шагового двигателя 3, кинематически связанного со шпинделем посредством червячной передачи 4, и управляемого генератором гидравлических импульсов 9, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8, жестко закрепленного на валу инструмента.

Планетарное движение шлифовального круга, способствующее более равномерному износу круга, осуществляется за счет эксцентричного расположения оси шпинделя инструмента относительно оси гильзы 12, которая приводится во вращение гидравлическим шаговым двигателем 15 посредством цилиндрической зубчатой передачи 14.

Шаговый гидродвигатель 15 управляется генератором гидравлических импульсов 10, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение от золотниковой втулки генератора гидравлических импульсов 9 через несилую гитару зубчатых колес 11.



**Рис. 1. Структурная схема станка с внутренними гидравлическими связями для затылования сверл и зенкеров**

Осевое перемещение шпинделя, обеспечивающее затачивание задней поверхности сверла по винтовой поверхности конической частью шлифовального круга, осуществляется от торцевого кулачка 7, закрепленного на гильзе 12 и взаимодействующего с упором 13.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 1 по трубопроводу 2.

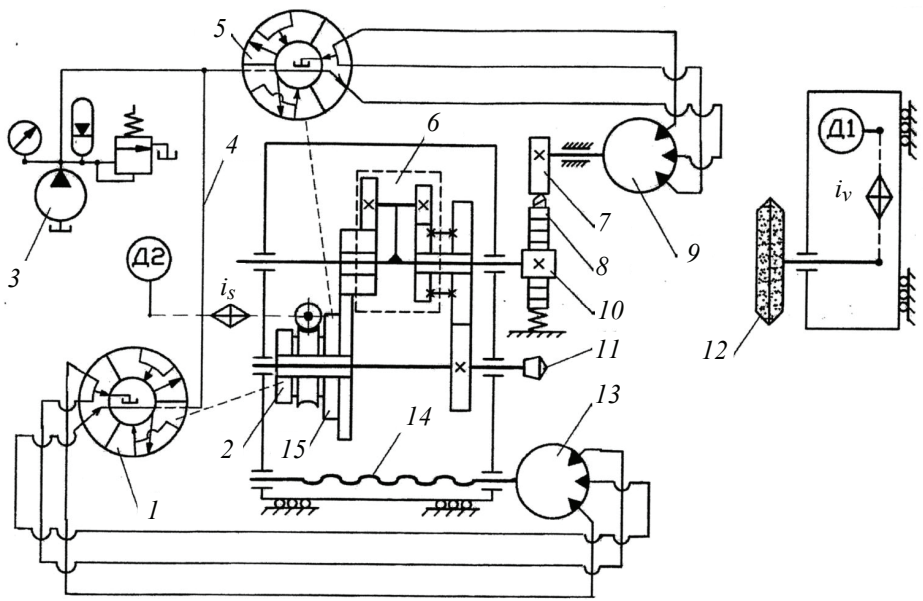
На рисунке 2 представлена структурная схема резбошлифовального станка с гидравлическими внутренними связями для шлифования резьбы с неравномерным шагом [5].

Станок включает в себя инструмент 12, совершающий вращательное движение от отдельного электродвигателя Д1 через звено настройки  $i_v$ , заготовку, закрепленную в шпинделе 11 и получающую вращение (круговую подачу) от электродвигателя Д2 через звено настройки  $i_s$  и дифференциал 6 с цилиндрическими колесами.

Продольное перемещение суппорта станка осуществляется от гидравлического шагового двигателя 13, кинематически связанного с ходовым винтом 14 продольной подачи и управляемого генератором гидравлических импульсов 1, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение от зубчатого колеса 2, закрепленного на блоке 15 и связанного со шпинделем заготовки.

Дополнительное перемещение инструмента, соответствующее приращению шага резьбы, осуществляется от шагового гидродвигателя 9, кинематически связанного с механизмом, преобразующим равномерное вращательное движение в неравномерное, и состоящими из кулачка 7, зубчатой рейки 8 и зубчатого колеса 10, жестко закрепленного на валу, связанным с водилом дифференциала 6. Шаговый гидродвигатель управляется генератором гидравлических импульсов 5, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 15, закрепленного на шпинделе 11 заготовки.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов поступает от насосной станции 3 по трубопроводу 4.



**Рис. 2. Структурная схема резьбошлифовального станка с гидравлическими внутренними связями для шлифования резьб с неравномерным шагом**

На рисунке 3 представлена структурная схема токарного станка с внутренними гидравлическими связями для обработки многогранных конических заготовок [6].

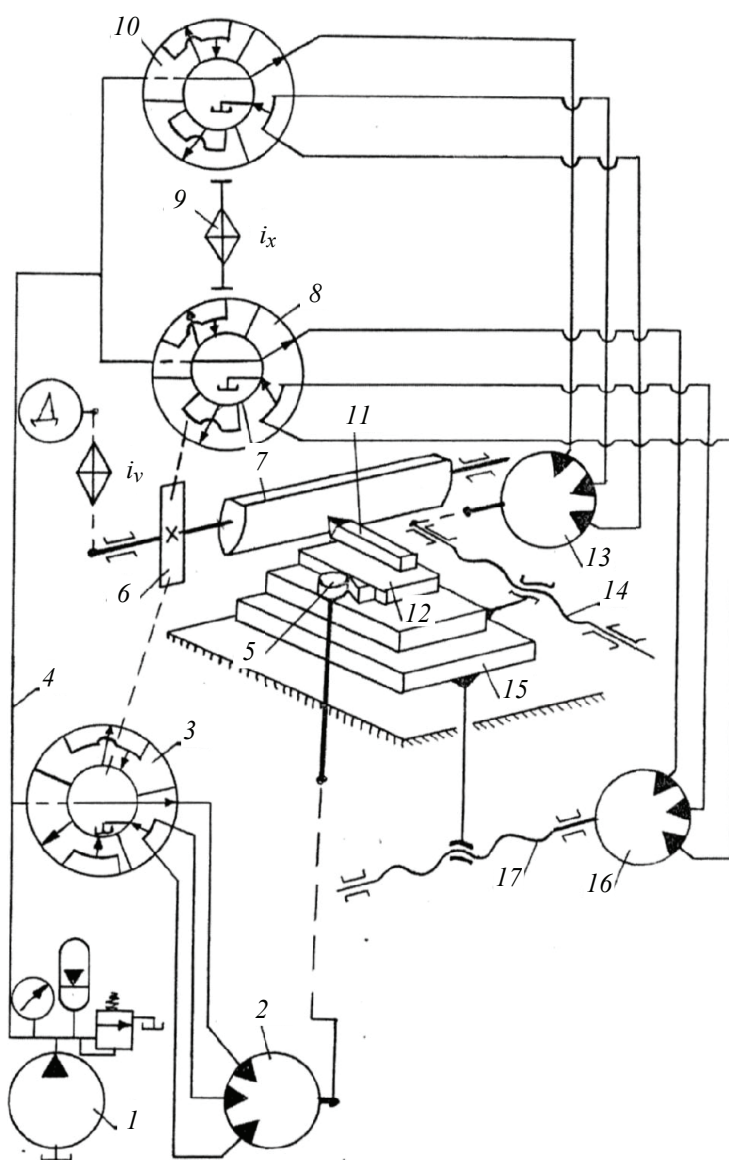
Станок включает в себя узел заготовки, которая совершает равномерное вращение от электродвигателя Д через звено настройки  $i_v$ .

Для получения требуемой формы слитка по сечению необходимо создать внутреннюю связь между шпинделем заготовки и поворотным суппортом инструмента. Вращательное движение заготовки 7 равномерное, а поворот резцедержателя с инструментом 11 неравномерный; поэтому отношение скоростей их движения – величина переменная. Закон изменения этого отношения обеспечивается сменными кулачками 5.

Для осуществления процесса обработки граней конусных заготовок вращение кулачку 5, от которого производится поворот резцедержателя с инструментом, передается от гидравлического шагового двигателя 2, который управляется генератором гидравлических импульсов 3, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 6, закрепленного на шпинделе заготовки 7.

Для получения требуемой конусности по длине заготовки необходимо осуществить определенную связь между продольным перемещением суппорта и поперечным перемещением салазок с поворотным резцедержателем.

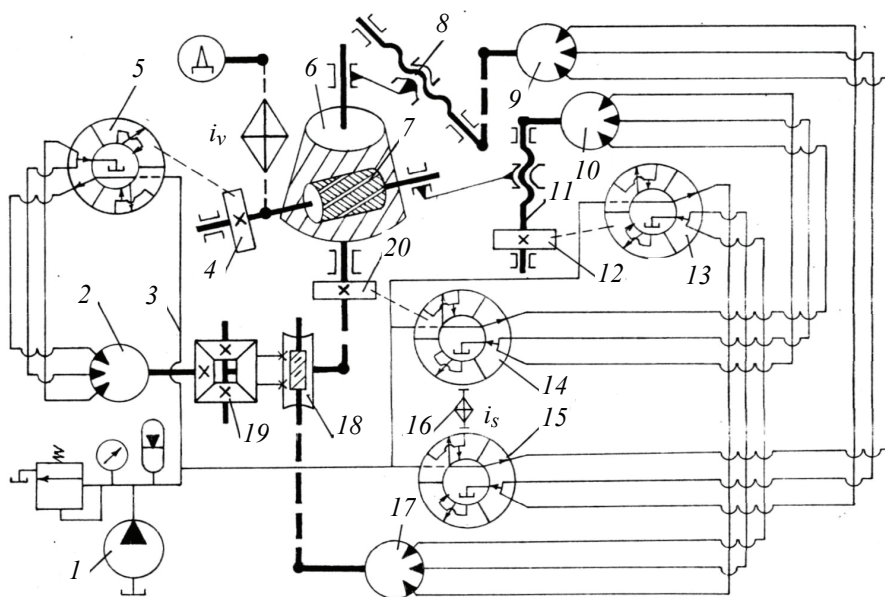
Продольное перемещение суппорта 15 осуществляется от шагового гидродвигателя 16, кинематически связанного с продольным суппортом посредством ходового винта 17 продольной подачи и управляемого генератором гидравлических импульсов 8, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 6, жестко закрепленного на шпинделе заготовки. Поперечное перемещение салазок с инструментом, связанное с продольным перемещением суппорта осуществляется от шагового гидродвигателя 13, кинематически связанного с поперечными салазками посредством ходового винта 14 поперечной подачи, и управляемого от генератора гидравлических импульсов 10, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от генератора



**Рис. 3. Структурная схема токарного станка с внутренними гидравлическими связями для обработки многогранных конических заготовок**

гидравлических импульсов 8 цепи продольного перемещения суппорта посредством гитары сменных колес 9. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов поступает от насосной станции 1 по трубопроводу 4.

На рисунке 4 представлена структурная схема зубофрезерного станка с гидравлическими внутренними гидравлическими связями для нарезания конических колес с косыми (тангенциальными) зубьями червячной фрезой [7]. Станок включает в себя инструмент 7, совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки  $i_v$ , заготовку б, взаимодействующую с инструментом по цепи обката и получающую вращение от гидравлического шагового двига-



**Рис. 4. Структурная схема зубофрезерного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания конических колес с косыми (тангенциальными) зубьями червячной модульной фрезой**

теля 2, кинематически связанного со шпинделем заготовки и управляемого генератором гидравлических импульсов 5, золотниковая втулка с расчетным числом рабочих щелей которого получает вращение от зубчатого колеса 4, закрепленного на шпинделе инструмента. Вертикальная подача инструмента осуществляется от гидравлического шагового двигателя 10, кинематически связанного с ходовым винтом 11 вертикальной подачи инструмента. Управление шаговым гидродвигателем производится генератором гидравлических импульсов 14, золотниковая втулка с рабочими щелями, определяющими передаточное отношение цепи  $i_v$ , получает вращение от зубчатого колеса 20, жестко закрепленного на шпинделе заготовки.

Радиальное перемещение стола с заготовкой, необходимое для воспроизведения наклонной образующей при обработке конической поверхности, осуществляется гидравлической связью, состоящей из шагового гидродвигателя 9, управляемого генератором гидравлических импульсов 15, золотниковая втулка с расчетным числом щелей которого получает вращение от генератора гидравлических импульсов 14 привода вертикальной подачи через несилую гитару сменных колес 16, обеспечивая кинематическую связь между вертикальным перемещением инструмента и радиальным перемещением заготовки на величину конусности, а дифференциальное движение, необходимое при нарезании конических колес с тангенциальными зубьями для обеспечения дополнительного поворота заготовки, осуществляется от шагового гидродвигателя 17, кинематически связанного с заготовкой через суммирующий механизм 19 в виде дифференциала с коническими колесами посредством червячной передачи 18 и управляемого генератором гидравлических импульсов 13, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 12, закрепленного на ходовом винте 11 вертикальной подачи фрезерного суппорта с инструментом. Рабочая жидкость генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 1 по трубопроводу 3.

Эффективность использования во внутренних цепях станков гидравлических связей на основе шагового гидропривода с силовыми исполнительными шаговыми гидродвигателями по сравнению с использованием традиционных механических цепей достигается за счет следующих основных факторов:

– обеспечения конструктивной однородности внутренних кинематических связей между конечными звеньями цепей – заготовкой и инструментом – для станков различного технологического назначения и разных типоразмеров; при этом возможно исключить конструктивное и размерное многообразие внутренних кинематических цепей, предназначенных для выполнения однотипных функций и осуществить проектирование и построение внутренних цепей различных станков с большим различием характеристик из небольшого ограниченного, экономически обоснованного, количества типоразмеров одинаковых (типовых или стандартных) агрегатов (модулей);

– уменьшения металлоемкости и массы станка за счет сокращения до возможного минимума количества промежуточных звеньев, составляющих механическую кинематическую цепь (шестерен, муфт, валов) при замене ее гидравлической связью, что существенно упрощает кинематику станка и, одновременно, приводит к повышению жесткости и точности, а также позволяет создать более рациональную компоновку, предельно сблизить при этом узел инструмента и узел заготовки при сложном пространственном расположении рабочих органов станка;

– повышения крутильной жесткости внутренних кинематических цепей (обката, деления, затылования, винторезных, дифференциалов, подач различного вида и т.п.) в результате исключения протяженных кинематических цепей, благодаря прямому соединению силовых исполнительных шаговых гидродвигателей с узлами заготовки и инструмента, что приводит также к повышению точности цепей и изделий, обрабатываемых на станках.

#### *Список литературы*

1. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Трифонов, О.Н. «Гидравлический вал» в приводе металлорежущих станков / О.Н. Трифонов, В.А. Ванин // Гидравлические системы металлорежущих станков : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. О.Н. Трифонова. – М., 1974. – Вып. 1. – С. 178–184.
3. Ванин, В.А. Применение гидравлических шаговых моторов в 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.
4. Заявка № 2003113036/02 Российская Федерация, МПК 24 В 3/30. Станок с гидравлическими связями для затылования сверл / Ванин В.А., Евлампиев С.В., Мочалин Н.Н. ; заявитель Тамб. гос. техн. ун-т. – Заявл. 05.05.2003 ; опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1. – 2 с.
5. Заявка № 2002134304/02 Российская Федерация, МПК 7 В 23 G 1/36. Станок для шлифования резьб с неравномерным шагом / Ванин В.А., Евлампиев С.В. ; заявитель Тамб. гос. техн. ун-т. – Заявл. 19.12.2002 ; опубл. 27.06.2004, Бюл. № 18. – 2 с.
6. Заявка 99125626/02 Российская Федерация, МПК 7 В 23 В 5/44. Токарный станок с гидравлическими связями для обработки многогранных заготовок / Ванин В.А. ; заявитель Тамб. гос. техн. ун-т. – Заявл. 06.12.99 ; опубл. 20.09.2001 ; Бюл. № 26 (I ч.). – 2 с.
7. Пат. 2143961 Российская Федерация, МПК 7 В 23 F 5/24. Зубофрезерный станок для нарезания конических колес с косыми зубьями червячной фрезой / Ванин В.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 98111184/02 ; заявл. 15.06.98 ; опубл. 10.01.00, Бюл. № 2. – 2 с.

## **Kinematic Structure of Metal-Cutting Machines with Hydraulic Coupling Based on Hydraulic Stepper in the Internal (Formative) Chains**

V.A. Vanin, Nguyen Ngoc Hai

*Department "Technology of Engineering Metal-Cutting Machines and Instruments",  
TSTU; trngochai@yahoo.com*

**Key words and phrases:** the hydraulic connection; a hydraulic stepper; internal (formative) chain.

**Abstract:** The paper studies the possibility of building internal (formative) kinematic chains of machine tools of various technological purposes in the form of hydraulic connections on the basis of hydraulic stepper in order to improve the accuracy, reduce the metal consumption, create the rational design of the machine using the aggregate-modular principle.

---

### **Kinematische Struktur der spanabhebenden Werkzeugmaschinen mit den hydraulischen Verbindungen auf Grund des Hydraulikantriebes in den inneren (förmigen) Ketten**

**Zusammenfassung:** Es wird die Möglichkeit des Baues der inneren (förmigen) kinematischen Ketten der spanabhebenden Werkzeugmaschinen der verschiedenen Zweckbestimmung vorschauweise den hydraulischen Verbindungen auf Grund des Hydraulikantriebes mit dem Ziel der Erhöhung der Genauigkeit, der Senkung des Metalleinsatzes, der Schaffung der rationalen Konstruktion der Werkzeugmaschine betrachtet.

---

### **Structure cinématique des découpeuses à métaux avec des liens hydrauliques à la base de l'hydrocommande pas à pas dans les chaînes intérieures (construisant de nouvelles formes)**

**Résumé:** Est examinée la possibilité de la construction des chaînes cinématiques intérieures (construisant de nouvelles formes) des découpeuses à métaux de la destination technologique différente en vue des liens hydrauliques à la base de l'hydrocommande pas à pas dans le but de l'augmentation de la précision, de la diminution de la capacité métallique, de la création de la construction rationnelle de la machine en utilisant le principe agrégé modulaire.

---

**Авторы:** *Ванин Василий Азафонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; *Нгуен Нгок Хай* – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПОУ «ТГТУ».

**Рецензент:** *Чуриков Александр Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПОУ «ТГТУ».