

## СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЯХ

**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 связи; генератор гидравлических импульсов; гидравлические связи; гидравлический шаговый двигатель; гидравлический шаговый привод; металлорежущие станки; формообразующие связи.

**Аннотация:** Рассмотрена возможность синтеза и оптимизации 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

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 формообразующих движений не остается постоянным.

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

Для получения методами резания поверхности заданной геометрической формы и размеров на изделии необходимо создать исполнительное движение формообразования инструмента и заготовки, траектории и скорости которых взаимосвязаны между собой.

В настоящее время наиболее часто применяют кинематические цепи, движение в которых осуществляется посредством механических звеньев как в цепях главного движения, так и во внутренних (формообразующих), при этом каждая из них строится индивидуально для каждого типа станка, разного габарита, различной точности [1].

### Формообразующие цепи металлорежущих станков с механическими связями

Наиболее существенными недостатками кинематических цепей, составленных из механических звеньев, являются:

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

– непостоянная крутильная жесткость, которая зависит от протяженности цепи, числа 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 габарита.

Применение механических связей усложняет конструкцию станка, увеличивает его металлоемкость, а при значительной протяженности механической цепи не всегда возможно обеспечить необходимую кинематическую точность цепи без применения специальных корректирующих устройств.

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 и обката значительной протяженности, при этом они становятся громоздкими и не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность, так как повышенное трение и изнашивание самих цепей приводят к постоянному снижению их точности.

При сложном пространственном расположении рабочих органов, большом числе промежуточных подвижных элементов и большом расстоянии между подвижным рабочим органом, жесткие кинематические цепи, составленные из механических звеньев, становятся сложными, что приводит к усложнению станка и снижению точности функционально связанных перемещений.

При рациональном построении внутренних кинематических цепей станков, достижение их высокой кинематической точности может быть реализовано уменьшением до возможного предела погрешностей составляющих звеньев цепи и выбором такой кинематической схемы и ее звеньев, которые делают возможным минимальное влияние погрешностей.

Уменьшение отдельных составляющих суммарной погрешности возможно осуществить следующими способами:

– обеспечением необходимой и достаточной точности делительных червячных передач и промежуточных звеньев кинематических цепей формообразования (зубчатые колеса, подшипники и т.д.);

– рациональным построением кинематической цепи в целях уменьшения влияния погрешности ее элементов.

Одним из возможных способов повышения точности внутренних кинематических цепей и сохранения ее в процессе эксплуатации является сокращение протяженности цепей, что ведет к значительному снижению металлоемкости станков за счет применения высокоточных приводов, обеспечивающих непосредственное соединение двигателя с заготовкой и инструментом, исключая при этом коробки скоростей и подач, промежуточные механические передачи и звенья.

Это относится к металлорежущим станкам, имеющим сложное пространственное расположение рабочих органов при значительном расстоянии между подвижными рабочими органами, длинные и разветвленные многозвенные перенастраиваемые кинематические цепи, где требуется создать относительные взаимосвязанные формообразующие движения инструмента и обрабатываемой заготовки.

Такие кинематические связи могут быть выполнены в виде разомкнутого гидравлического шагового привода (ГШП), применение которого в цепях металлорежущих станков позволит в разомкнутой системе реализовать управляющие функции с большой точностью.

### **Формообразующие гидравлические связи на основе шагового гидропривода**

Применение ГШП 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 позволяет 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 отработки дискретных перемещений (угловых или линейных) на выходе исполнительного органа.

В качестве силового исполнительного органа используется гидравлический шаговый двигатель (ГШД), соединенный со звеном настройки, выполненным в виде генератора гидравлических импульсов (ГГИ) и преобразующим энергию жидкости в гидравлические импульсы. При этом каждому управляющему импульсу соответствует определенный фиксированный угол поворота выходного вала ГШД.

Скорость вращения и суммарный угол поворота выходного вала пропорциональны соответственно частоте и числу поступающих импульсов. Передаточное отношение гидравлической связи между исполнительными органами зависит от соотношения частот гидравлических импульсов, формируемых ГГИ и подаваемых к исполнительным ГШД. Для воспроизведения образующей линии по методу обката между перемещениями рабочих органов станка необходимо осуществить требуемую функциональную зависимость. Для получения формообразующего движения требуется обеспечить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом. Поэтому из всех видов ГШД наиболее приемлемыми для построения внутренних кинематических цепей являются двигатели с механической редукцией шага.

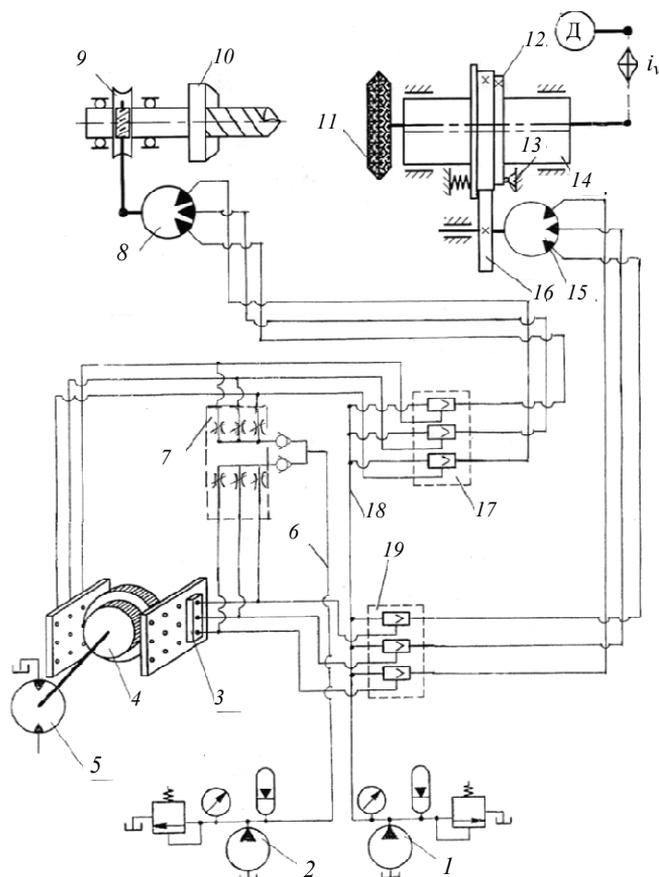
Для получения малой величины шага имеются примеры ГШД со встроенными волновыми и планетарными редукторами. Волновые гидродвигатели реализуются различными конструктивными сочетаниями гибкого и жесткого зубчатых колес и волнообразователя. При этом различные технические характеристики привода, различные законы управления привода, принципиальные особенности ГШД будут зависеть от конструктивных разновидностей основных элементов.

Внутренние кинематические цепи металлорежущих станков, выполненные в виде гидравлических связей на основе ГШД, можно построить, используя агрегатно-модульный принцип. Все агрегаты, входящие в состав ГШП, – источник рабочей жидкости (насосная установка), исполнительный силовой орган (ГШД с механической редукцией шага), управляющее (коммутирующее) устройство (ГГИ) – выполнены как конструктивно и функционально завершенные блоки (модули), которые имеют типовые присоединительные размеры и стыковочные устройства. Это обеспечивает соединение с конечными звеньями кинематических цепей и выполнение заданных функций либо самостоятельно, либо совместно с другими блоками в зависимости от сложности, назначения и точности кинематической цепи, числа формообразующих движений [5 – 7].

Рассмотрим структурные схемы станков различного технологического назначения, внутренние кинематические связи которых построены с использованием гидравлических связей на основе ГШП, где в качестве силового органа применяются ГШД с механической редукцией шага и различными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

На рисунке 1 приведена структурная схема станка для заточки спиральных сверл и зенкеров с внутренними гидравлическими связями и системой управления от блоков гидрораспределителей, построенной на базе двухкромочного золотника с торцевым распределением рабочей жидкости.

Станок включает в себя инструмент 11 (шлифовальный круг), совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через звено настройки  $i_v$ . Вращение шпинделя с заготовкой 10 осуществляется от ГШД 8, кинематически связанного со шпинделем посредством червячной передачи 9. Планетарное движение инструмента 11, обеспечивающее более равномерный его износ, выполняется за счет эксцентричного расположения оси шпинделя инструмента относительно оси гильзы 14, которая приводится во вращение ГШД 15, посредством цилиндрической зубчатой передачи 16. Для осуществления осевого перемещения шпинделя в целях обеспечения затачивания задних поверхностей в винтовой поверхности конической частью шлифованного круга используется торцовый кулачок 12, закрепленный на гильзе 14 и взаимодействующий с упором 13. Управление ГШД 8



**Рис. 1. Структурная схема станка для заточки спиральных сверл и зенкеров с внутренними гидравлическими связями и системой управления от блоков гидрораспределителей**

и 15 приводов вращения заготовки 10 и планетарного движения инструмента 11 осуществляется от блоков гидрораспределителей 17 и 19 с торцовым распределением рабочей жидкости, выполненных на базе двух кромочного золотника. Число таких гидрораспределителей в каждом блоке определяется числом рабочих камер каждого из ГШД. Настройка внутренней гидравлической цепи на требуемое передаточное отношение осуществляется с помощью ГГИ 4.

Механический ГГИ представляет собой устройство, конструктивно выполненное в виде набора кодирующих дисков, закрепленных на общей оси, и получающего вращение от отдельного гидромотора 5. Число кодирующих дисков в генераторе определяет число передаточных отношений цепи. Генератор гидравлических импульсов формирует гидравлические импульсы давления и распределяет их по рабочим камерам ГШД за счет периодического в определенной последовательности открытия и закрытия рабочих щелей. Наружная поверхность каждого из кодирующих дисков выполнена таким образом, что один выступ может перекрывать только лишь одну щель. Рабочие щели в корпусе ГГИ располагаются с шагом  $t_{щ} = t_{в}(m \pm 1/n)$ , где  $t_{в}$  – шаг выступов кодирующего диска, равный  $t_{в} = 360^\circ/z$ , здесь  $z$  – число зубьев выступов кодирующего диска;  $m$  – целое число, выбирается из условия удобного расположения и присоединения рабочих щелей к гидролиниям;  $n$  – число щелей, соответствующих числу каналов в ГШД.

При таком расположении щелей, относительно выступов вращающегося кодирующего диска через две оставшиеся незакрытыми щели, рабочая жидкость поступает на слив, при этом одна щель всегда перекрывается выступом диска. В момент, когда выступ вращающегося диска ГГИ находится напротив рабочей щели, происходит скачкообразное повышение управляющего давления. В результате управляющее давление одного из каналов увеличивается до максимального, в двух других каналах рабочая жидкость поступает на слив.

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 кодирующего диска ГГИ. Передаточное отношение между исполнительными органами зависит от соотношения частот гидравлических импульсов. Изменение передаточного отношения цепи обката производится перемещением ползушек 3 на корпусе ГГИ 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 2 через блок постоянных дросселей 7 по трубопроводу 6.

На рисунке 2 представлена структурная схема токарно-затыловочного станка с гидравлическими формообразующими связями для затылования фасонных цилиндрических фрез с винтовыми стружечными канавками [8 – 10].

Станок включает в себе заготовку 10, вращение которой осуществляется электродвигателем Д через звено настройки  $i_v$ .

Движение затылования (деления), связывающее между собой вращение заготовки 10 и вращение кулачка затылования 6, от которого производится возвратно-поступательное перемещение в радиальном направлении верхней каретки 14

с инструментом 13, осуществляется ГШД 4, кинематически связанным с кулачком затылования через центральное колесо суммирующего механизма 3. Управление данным ГШД осуществляется ГГИ, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8, закрепленного на шпинделе заготовки.

Продольное перемещение продольного суппорта 12 с инструментом 13 связано с вращением заготовки 10 винторезной цепью и осуществляется от ГШД 16, кинематически связанного ходовым винтом 19 с продольным суппортом 12 управляемого ГГИ 9, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 8, закрепленного на шпинделе заготовки 10. Требуемая форма профиля заготовки обеспечивается внутренней кинематической связью между продольным 12 и поперечным 14 суппортами посредством шупа, который жестко скреплен с суппортом 14 и сменным копиром 11 при продольном перемещении продольного суппорта 14 посредством ходового винта 19 продольной подачи.

Дифференциальное движение, необходимое при затыловании изделий с фасонными поверхностями и винтовыми стружечными канавками и обеспечивающее дополнительный поворот кулачку затылования 6, осуществляется ГШД 18, кинематически связанным с кулачком затылования через суммирующий механизм 3 в виде дифференциала с коническими колесами посредством червячной переда-

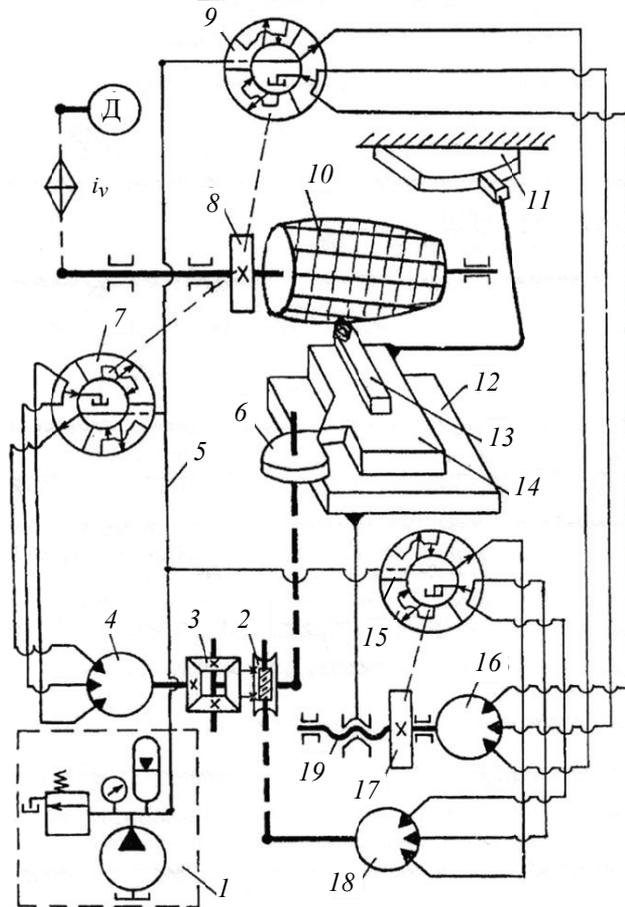


Рис. 2. Структурная схема токарно-затыловочного станка с гидравлическими формообразующими связями

чи 2 и управляемого от ГГИ 15, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 17, жестко закрепленного на ходовом винте 19 продольной подачи суппорта 14. Рабочая жидкость подводится к ГГИ от насосной установки 1 по трубопроводу 5.

### Заключение

Применение ГШП при построении внутренних (формообразующих) кинематических цепей в виде гидравлических связей дает возможность решить следующие задачи при проектировании станков.

1. Обеспечить конструктивную однородность внутренних кинематических цепей для всех типов станков различного технологического назначения со сложными движениями формообразования, в которых при работе требуется осуществить жесткую функциональную связь между инструментом и заготовкой. Построение рациональной компоновки сложных формообразующих цепей станков выполняется из ограниченной номенклатуры составных унифицированных агрегатов (модулей), имеющих функциональную и конструктивную завершенность с использованием ограниченного числа деталей и узлов индивидуального проектирования и изготовления. Данные узлы при соответствующей сборке обеспечивают построение внутренних цепей различного функционального назначения, а также технологические и компоновочные условия по точности, числу формообразующих движений, металлоемкости для конкретной технологической задачи в станках различного технологического назначения.

2. Расширить возможности применения ГШП для выполнения сложных взаимосвязанных формообразующих движений в станках, особенно при сложном пространственном расположении исполнительных рабочих органов станка, большом числе промежуточных звеньев в цепи и значительном расстоянии между подвижными рабочими органами, когда механические кинематические цепи станков являются многозвеньевыми, протяженными, сложными и громоздкими, что приводит к усложнению конструкции станка и снижению точности функционально связанных перемещений.

3. Обеспечить значительное сокращение сроков и снижение трудоемкости проектирования, изготовления и освоения новых конструкций кинематических цепей, поскольку допускается возможность многократного использования элементов цепей в различных комбинациях и сочетаниях. В новых компоновках обеспечивается рациональное построение кинематики станка с наименьшим числом механических звеньев, так как возможно прямое непосредственное соединение исполнительного силового ГШД с исполнительными узлами станка (инструмента и заготовки) без применения коробок передач, редукторов, промежуточных передач и т.д.

4. Повысить точность кинематических цепей за счет уменьшения накопленной погрешности, так как общая протяженность механической кинематической цепи при замене ее гидравлической связью между согласуемыми рабочими органами предельно сокращается.

5. Позволяет не конструировать внутренние (формообразующие) кинематические цепи станков различного технологического назначения и разных типоразмеров одного назначения каждый раз заново, а компоновать их из функционально и конструктивно завершенных агрегатов (модулей), взятых в таком сочетании, что обеспечивает необходимые формообразующие движения, рациональную компоновку станка, точность цепи.

6. Уменьшить металлоемкость и массу станка за счет исключения из состава механической цепи до возможного минимума числа промежуточных звеньев.

7. Обеспечить конструктивную преемственность при создании конструкций станков благодаря типизации конструктивного исполнения внутренних кинематических цепей, выполненных в виде гидравлических связей на основе ГШП, состоящего из функционально и конструктивно завершенных агрегатов (модулей), имеющих унифицированные габаритно-установочные и присоединительные элементы и выполняющих заданные функции самостоятельно либо совместно с аналогичными модулями в зависимости от назначения, сложности внутренней цепи, числа формообразующих движений, точности цепи.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, № 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 : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 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.

## Synthesis and Optimization of Kinematic Structure of Machine Tools Using Hydraulic Connections in Forming Chains

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 communications; hydraulic pulse generator; hydraulic couplings; hydraulic stepping motor; hydraulic stepper drive; machine tools; shape-generating chains.

**Abstract:** The paper studies the possibility of synthesizing and optimizing the construction of internal (forming) chains of metal-cutting machines of various technological purposes in the form of a hydraulic synchronous connection on the basis of a hydraulic drive with the purpose of applying the modular-modular principle to increase accuracy, reduce metal consumption, and create a rational design of machine tool chains.

### References

1. Kolodin A.N., Vanin V.A., Rodina A.A. *Zatylovochnyye stanki s gidravlicheskimi 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: Izdatel'stvo FGBOU VPO "TGTU", 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.

---

### **Synthese und Optimierung der kinematischen Struktur von Werkzeugmaschinen mit Verwendung der hydraulischen Verbindungen in formbildenden Ketten**

**Zusammenfassung:** Es ist die Möglichkeit der Synthese und Optimierung des Aufbaus von inneren (formbildenden) Ketten der Zerspanungsmaschinen für verschiedene technologische Zwecke in Form einer hydraulischen Synchronverbindung auf der Basis eines hydraulischen Schrittantriebs für die Anwendung des aggregatmodularen Prinzips betrachtet, um die Genauigkeit zu erhöhen, den Metallverbrauch zu reduzieren, eine rationale Konstruktion von Werkzeugmaschinenketten zu schaffen.

---

### **Synthèse et optimisation de la structure cinématique des machines à l'aide de liaisons hydrauliques dans les chaînes de formage**

**Résumé:** Est envisagé la possibilité de synthétiser et d'optimiser la construction des chaînes internes (de formage) des machines-outils de découpe des métaux à divers fins technologiques sous la forme d'une connexion synchrone hydraulique à la base du moteur pas à pas pour l'application d'un principe agrégat-modulaire pour améliorer 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.