УДК 621.9.06

СУЮКТУКТУН ЧЫГЫМДАРЫН СЕРПИМ-СОККУЛУУ ЖАНА ЖЫШТЫК-СОККУЛУУ ЖӨНДӨӨЧҮ ТЕСТИН ГИДРОСУППОРТУН КУРАЛЫН ЖЫЛЫДЫРУСУН БАШКАРУУЧУ АВТОМАТТЫК СИСТЕМАЛАРЫН ИШТЕП ЧЫГАРУУ

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ИНСТРУМЕНТА ГИДРОСУППОРТА СТАНКА С АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНЫМ И ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ РАСХОДА ЖИДКОСТИ

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC TOOL SUPPLY CONTROL SYSTEMS WITH AMPLITUDE-PULSED AND FREQUENCY-PULSED LIQUID FLOW CONTROL

А. П. Муслимов, С. И. Квитко, В. Б. Васильев
A. P. Muslimov, S. I. Kvitko, V. B. Vasilev

Макалада токардык тесте буюмдарды механикалык иштетүүнүн технологиялык жараяндарын башкаруунун автоматтык системаларын иштеп чыгуу боюнча материалдар камтылган, мында куралды жылдыруучу тестин гидросуппортко күчтүк цилиндрине кирүүчү суюктуктун чыгымын жөндөөчү дискреттик ыкмасын колдонуусу каралган. Куралдардын жылдырып берүүсүн башкаруунун серпим-соккуулу жана жыштык-соккуулу ыкмалары менен иштелип чыккан жөндөмдөө системалары, аларды долбоорлоо үчүн керектүү негизги өлчөм мүнөздөгүчтөрүн эсептөө үчүн математикалык моделдери келтирилген. Токардык таза жана орой иштетуудө иштелип чыккан системаларды колдонуу мумкунчулугу далилденди. Иштетилип жаткан материалдарга жараша системада баштоочу программалык түзүлүштүн болушу иштетүүдө ар кандай алгоритмин колдонууга мүмкүндүк берет. Жалпы жөнү, иштетилип чыккан системаларды бөлөк түрдөгү тестерде буюмдарды иштетүүдө колдонсо болот.

В статье содержатся материалы по разработке автоматических

систем управления технологическими процессами механической обработки изделий на токарном станке, предусматривающих использование дискретного способа регулирования расхода жидкости, поступающей в силовой цилиндр гидросуппорт станка подачи инструмента. Приведены разработанные системы управления с амплитудно-импульсным и частотно-импульсным способами регулирования подачи инструмента, математические модели для расчета основных параметров регуляторов, необходимых при их проектировании. Доказана возможность использования разработанных систем при токарной чистовой и черновой обработке. Наличие в системе задающего программного устройства позволяет задействовать любой алгоритм режимов обработки в зависимости от обрабатываемых материалов. В принципе разработанные системы применимы при обработке изделий на других видах станков.

The article contains materials on the development of automatic control systems for the technological processes of machining products on a lathe, involving the use of a discrete method for regulating the flow of fluid entering the power cylinder of the hydraulic support of the tool feed machine. The developed control systems with amplitude-pulse and frequency-pulse methods of tool feed control, mathematical models for calculating the main parameters of regulators necessary for their design are presented. The possibility of using the developed systems for turning finishing and roughing is proved. The presence in the system of a master software device allows you to use any algorithm of processing modes, depending on the materials being processed. In principle, the developed systems are applicable when processing products on other types of machine tools.

Түйүн сөздөр: *механикалык иштетүү; токардык тес; гидросуппорт; автоматтык системасы; маалымат өлчөөчү түзүлүш; жыштык өзгөрткүч; суюктуктун чыгымын жөнгө салгыч; күчөткүч.*

Ключевые слова*: механическая обработка; токарный станок; гидросуппорт; автоматическая система; информационно-измерительное устройство; преобразователь частоты; регулятор расхода жидкости; усилитель.*

Keywords: *machining; lathe; hydraulic support automatic system; information-measuring device; frequency converter; fluid flow regulator; amplifier.*

Известно, что к продукции машиностроения в условиях рыночной экономики и конкуренции предъявляются повышенные требования по качеству продукции и при одновременном обеспечении высокой производительности труда. Эту проблему можно решить путем автоматического управления технологическим

процессом изготовления, например, при токарной чистовой обработке — это обеспечение точности геометрических размеров детали и минимальной шероховатости обработанной поверхности, а при черновой обработке необходимо решать вопросы стойкости инструмента и предотвращения его поломки при внезапном повышении сил резания.

Сила резания, особенно при черновой обработке, постоянно изменяется во времени по следующим причинам: непостоянство припуска на обработку и твердости материала заготовки; износ режущей кромки резца; изменение упругих и пластических деформаций, температуры при резании и сил сопротивления и другим. При разработке автоматической системы регулирования следует иметь в виду, что от величины подачи инструмента зависит сила резания [1].

Увеличение или уменьшение подачи соответственно приводит к возрастанию или уменьшению силы резания, поэтому автоматическая система должна быть универсальной, т.е. в одинаковой мере она применима как для чистовых операций, когда путем стабилизации подачи инструмента и сил резания достигается точность геометрических размеров и чистота обработанной поверхности, так и для черновых, когда система при возрастании силы резания должна уменьшить ее за счет снижения величины подачи инструмента [2].

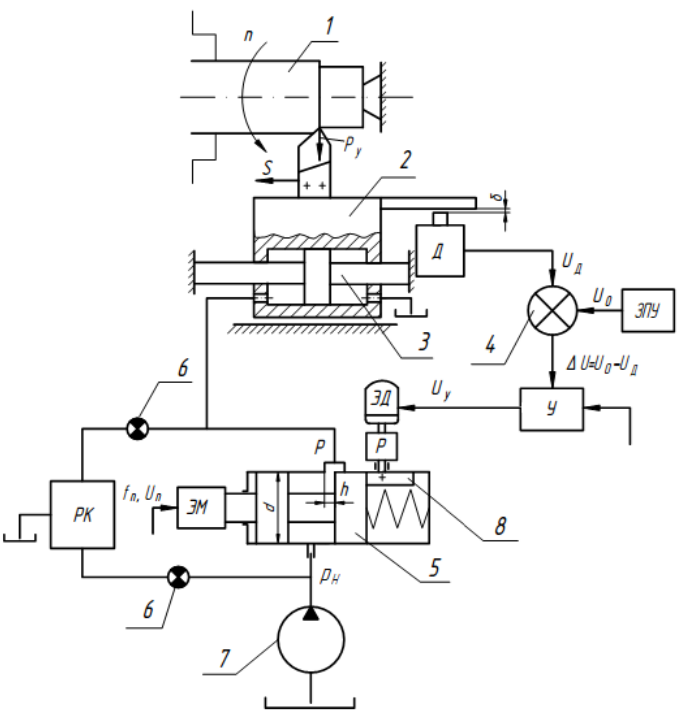
При тонком обтачивании деталей на токарных станках с целью получения точных геометрических размеров и чистоты поверхности широко используется гидравлический привод в суппорте станка, поскольку он обеспечивает плавность его перемещения и обладает способностью демпфировать вынужденные колебания, возникающие в процессе обработки.

Главными недостатками гидравлических приводов суппорта токарного станка при малых скоростях перемещения являются нестабильность скорости движения суппорта из-за изменения внутренних утечек в силовом цилиндре в зависимости от сил резания и облитерация пропускной щели дросселя при малых расходах.

Для устранения отмеченных выше недостатков были разработаны оригинальные автоматические системы управления величиной подачи инструмента гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсным и частотно-импульсным регулированием расхода, поступающего в его силовой цилиндр [3].

Амплитудно-импульсное регулирование расхода жидкости

На рисунке 1 представлена принципиальная схема автоматической системы управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсным регулированием расхода жидкости.



1 –обрабатываемая деталь; 2– гидросуппорт подачи инструмента; 3 – силовой цилиндр; 4 – сумматор; 5 – дискретный регулятор; 6 – демпфер; 7 – насос; 8 – эксцентрик; *РК* –редукционный клапан; *ЭМ* – электромагнит; *ЭД* – электродвигатель; *Р* – редуктор; *Д* – индуктивный датчик; *У* – усилитель; *ЗПУ* – задающее программное устройство.

Рисунок 1 – Принципиальная схема автоматического управления подачей инструмента гидросуппорта с амплитудно-импульсным регулированием расхода жидкости

Автоматическая система состоит из следующих основных элементов: гидросуппорт подачи инструмента 2, индуктивный датчик *Д* для постоянного измерения деформации резца, возникающей за счет радиальной составляющей силы резания P_y; сумматора 4, который на выходе выдает сигнал рассогласования $\Delta U = U_0 - U_Д$, где U_0 – задающий сигнал, поступающий из задающего программного устройства *ЗПУ*, $U_Д$ – электрический сигнал, идущий от индуктивного датчика. Сигнал рассогласования ΔU нуждается в усилении по мощности с помощью усилителя *У*, и усиленный сигнал $U_у$ приводит в движение электродвигатель *ЭД* с редуктором *Р*, который поворачивает эксцентрик 8, служащий упором подвижного золотника дискретного регулятора 5.

При повороте эксцентрика меняется значение открытия щели *h* дискретного регулятора. Любой закон изменения *h* устанавливается путем программирования параметров $U_о$ и профилем эксцентрика.

Средний расход рабочей жидкости, поступающий в силовой цилиндр 3, определяется формулой [2]:

$$Q = \mu\pi d\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}\cdot\frac{\Delta t}{T}h, \qquad (1)$$

где μ –коэффициент расхода, равный 0,65 [3]; d – диаметр золотника дискретного регулятора, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; γ – удельный вес рабочей жидкости, кг/м^3; Δp – перепад давления на дискретном регуляторе, МПа ($\Delta p = const$ в связи с тем, что к нему параллельно подключен редукционный клапан *РК*); Δt – ширина импульсного расхода жидкости, с; T – период чередования импульсного расхода (рисунок 2), с; h – величина открытия рабочей щели регулятора расхода, м.

В формуле (1) все параметры являются постоянными, кроме *h*, который может в зависимости от конкретной практической задачи меняться по любому заранее заданному закону, тогда формулу (1) можно представить в виде:

$$Q = K_a \cdot h, \qquad (2)$$

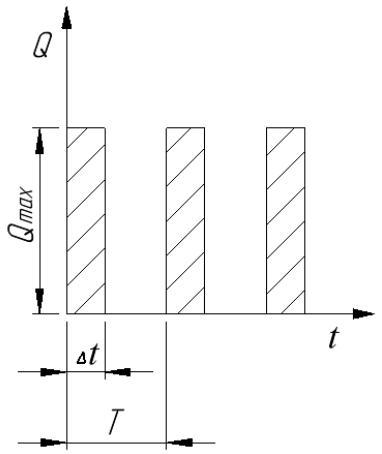


Рисунок 2 – Схема амплитудно-импульсного регулирования расхода жидкости

где $K_a = \mu\pi d\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}\cdot\frac{\Delta t}{T}$ коэффициент усиления дискретного регулятора с амплитудно-импульсным регулированием расхода жидкости.

Автоматическая система работает следующим образом.

При выполнении чистовых операций токарной обработки изменение радиальной составляющей силы резания P_y, например, при ее возрастании, приводит к уменьшению зазора δ между резцедержателем и датчиком, что в свою очередь ведет к изменению параметров $U_Д$, ΔU, U_y, и электродвигатель с редуктором поворачивает эксцентрик таким образом, чтобы величина рабочей щели h несколько увеличилась для компенсации возросших внутренних утечек в силовом цилиндре, что стабилизирует величину подачи инструмента.

Скорость движения гидросуппорта с инструментом с учетом внутренних утечек равна [3]:

$$S = \frac{Q}{F} - K_{ут}\frac{P_y}{F^2}, \qquad (3)$$

где F – эффективная площадь силового цилиндра, м^2; $K_{ут}$ –

коэффициент утечек в силовом цилиндре, зависящий от качества уплотнения; P_y – радиальная составляющая сила резания, Н; Q – расход, поступающий в силовой цилиндр, м^3/с.

Очевидно, величина дополнительного открытия рабочей щели Δh дискретного регулятора расхода должна увеличить расход, поступающий в силовой цилиндр таким образом, чтобы выдерживалось следующее условие [3]: $K_{ут}\frac{\Delta P_y}{F^2}=\frac{K_a\cdot\Delta h}{F}$, откуда можно определить значение Δh:

$$\Delta h=\frac{K_{ут}\cdot\Delta P_y}{K_a\cdot F}, \qquad (4)$$

где ΔP_y – величина приращения силы резания P_y.

Дополнительное открытие рабочей щели Δh стабилизирует скорость подачи инструмента путем увеличения ее на величину $\Delta S=\frac{K_a\cdot\Delta h}{F}$ — до установленного значения, что видно из формулы:

$$S=\frac{Q}{F}-K_{ут}\frac{P_y\pm\Delta P_y}{F^2}\pm\frac{K_a\cdot\Delta h}{F}. \qquad (5)$$

При увеличении силы резания ΔP_y во втором и третьем слагаемом следует брать знак плюс, а при уменьшении силы резания – знак минус.

При выполнении черновых операций токарной обработки силы резания постоянно изменяются во времени по вышеотмеченным причинам, достигая больших значений, что может привести к преждевременному износу резца, его поломке, поэтому автоматическая система за счет снижения подачи инструмента уменьшает величину силы резания до заданного значения.

Система работает аналогично, как и при стабилизации скорости подачи инструмента по вышеописанной схеме, но при этом отличие работы в том, что силы резания при черновой обработке возрастают значительно, поэтому необходимо дополнительное уменьшение щели дискретного регулятора расхода, величину ее

можно вычислить по той же формуле (4), в которой ΔP_y намного больше, чем при чистовой обработке.

Достоинство автоматической системы автоматического управления подачей инструмента гидросуппорта с амплитудно-импульсным регулированием расхода жидкости при применении ее в токарных станках – возможность ее применения как при чистовых, так и при черновых операциях.

Частотно-импульсное регулирование расхода жидкости

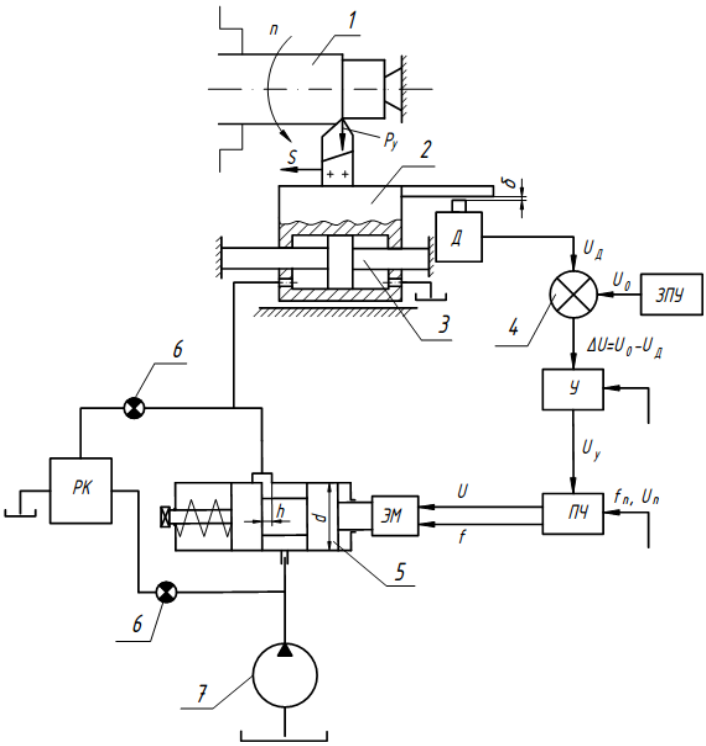
Автоматическая система с частотно-импульсным регулированием расхода жидкости (рисунок 3) состоит из тех же основных элементов, что и схема с амплитудно-импульсным регулированием: гидравлический суппорт 2 с силовым цилиндром 3; индуктивный датчик *Д*; задающее программное устройство *ЗПУ*; сумматор 4, в котором происходит сравнение электрических сигналов, идущих от датчика $U_Д$, и задающего сигнала U_0.

Сигнал рассогласования из сумматора $\Delta U = U_0 - U_Д$ усиливается усилителем *У*, и усиленный сигнал U_y поступает в преобразователь частоты *ПЧ*. При этом происходит изменение частоты и напряжения тока, поступающего в электромагнит *ЭМ*, и период открытия рабочей щели дискретного регулятора 5 меняется.

Средний расход, поступающий в силовой цилиндр суппорта, равен:

$$Q = \mu\pi d\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}\cdot\frac{\Delta t}{T}h = K_ч \cdot f, \qquad (6)$$

где $K_ч = \mu\pi d\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}\cdot\Delta t\cdot h$ – коэффициент усиления дискретного регулятора с частотно-импульсным регулированием расхода жидкости, f – частота колебания дискретного регулятора, $с^{-1}$, которая равна обратной величине периода, т.е. $f = \frac{1}{T}$.



1 – обрабатываемая деталь; 2– гидросуппорт подачи инструмента;
3 – силовой цилиндр; 4–сумматор; 5 – дискретный регулятор;
6 – демпфер; 7 – насос; *РК* – редукционный клапан; *ЭМ* – электромагнит;
Д – индуктивный датчик; У – усилитель, ПЧ – преобразователь частоты.

Рисунок 3 – Принципиальная схема автоматического управления подачей инструмента гидросуппорта с частотно-импульсным регулированием расхода жидкости

Из формулы (6) видно, что, меняя частоту чередования импульсного расхода, можно регулировать значение среднего расхода жидкости, поступающего в силовой цилиндр суппорта, и этим самым подачу инструмента:

$$S = \frac{Q}{F} - K_{ут} \frac{P_y \pm \Delta P_y}{F^2} \pm \frac{K_ч \cdot f}{F}. \qquad (7)$$

Различные скорости подачи инструмента и закон ее изменения осуществляется задающим программным устройством параметром U_0.

Разработанная система автоматического управления величиной подачи инструмента с частотно-импульсным регулированием является универсальной, поскольку применима она для токарных станков, предназначенных как для чистовой обработки, так и для черновой в зависимости от настройки преобразователя частоты тока [4].

При чистовой обработке для изготовления детали с точными геометрическими размерами и качественной поверхности необходимо поддерживать стабильными величину деформации резца, что достигается следующим образом: при возрастании радиальной составляющей силы резания P_y зазор δ между резцедержателем и датчиком уменьшается, что приводит к изменению $U_д$, сигналов рассогласования ΔU, усилителя U_y и частоты тока f, поступающего в электромагнит, который осуществляет колебательное движение золотника дискретного регулятора с большей частотой, и средний расход, поступающий в силовой цилиндр, возрастает ровно настолько, чтобы компенсировать уменьшение скорости подачи, вызванное увеличением внутренних утечек в силовом цилиндре суппорта.

При уменьшении нагрузки все происходит наоборот: δ увеличивается, что приводит к изменению величин $U_Д$, ΔU, $U_у$ и уменьшению частоты f колебания электромагнита, и скорость подачи восстанавливается до заданного значения.

При черновой обработке деталей на токарных станках силы резания изменяются в широких пределах, их величины возрастают в зависимости от таких факторов, как колебание припуска и твердости материала заготовки по длине обработки, износа режущей кромки инструмента, изменений температуры в зоне резания и сил сопротивления.

Для того чтобы повысить стойкость инструмента и предотвратить его поломку, при возрастании сил резания по изложенным выше причинам необходимо резко уменьшить величину подачи инструмента, что достигается соответствующей настройкой автоматической системы: при возрастании P_y изменяются параметры

$U_Д$, ΔU, $U_у$, и частота тока на выходе преобразователя уменьшается, что приводит к уменьшению сил резания.

Достоинствами разработанных автоматических систем управления величиной подачи инструмента гидросуппорта с амплитудно-импульсными и частотно-импульсным регулированием являются:

1) простота схемы управления, меньшее количество элементов, которые являются стандартными, кроме индуктивного датчика и дискретного регулятора расхода;

2) универсальность автоматической системы, поскольку она применима для чистовой и черновой видов механической обработки путем соответствующих несложных настроек элементов: задающего программного устройства и эксцентрика;

3) реализация любого закона изменения величины открытия рабочей щели, что позволяет оптимизировать технологический процесс;

4) отсутствие явления облитерации – заращивания пропускной щели регулятора расхода при его малых значениях в связи с тем, что постоянно происходит открытие и закрытие щели;

5) требования к точности и качеству изготовления дискретного регулятора значительно ниже, чем к дросселям непрерывного регулирования.

Автоматическую систему управления величиной подачи инструмента гидросуппорта с частотно-импульсным дискретным регулированием расхода можно применить для модернизации существующих, а также при создании новых моделей токарных станков, что обеспечит повышение качества продукции, производительности обработки и стойкости инструмента.

Литература

1. Грановский, Г. И., Грудов, П. П. Резание металлов: Учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов. — М.: Машиностроение, 2002.— 460 с.
2. Пуш, В. Э., Пигерт, Р., Сосонкин, В. Л. Автоматические станочные системы. – М. : Машиностроение, 2001. – 361 с.
3. Муслимов, А. П., Нифадьев, В. И., Пахомов, П. И. Расчет и проектирование гидравлических систем машин. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2006. – 164 с.
4. Муслимов, А.П., Васильев, В.Б. Автоматическое управление технологическими процессами в машиностроении. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2018. – 256 с.