

УДК 681.51:62-229.21:621.646.3

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ГИДРОСУППОРТА ТОКАРНОГО СТАНКА

¹Кадыров И.Ш., ¹Темирбеков Ж.Т., ¹Турсбеков Б.С., ²Волхонов М.С.¹Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина,
Бишкек, e-mail: bdtu_kg@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,
п. Караваево, Костромская обл., e-mail: vms72@mail.ru

Обеспечение стабильности малых подач инструмента на металлорежущих станках является актуальной задачей. Нестабильность подачи инструмента происходит по причинам малого расхода жидкости, поступающей в рабочую полость гидросуппорта и облитерации рабочих щелей гидросистемы дроссельного регулирования. С целью исключения влияния этих факторов применяют дискретное регулирование подачей инструмента гидросуппорта с автоматической корректировкой процессов токарной обработки на основе микроконтроллеров. Разработана автоматическая система с программным управлением подачей инструмента гидросуппорта токарного станка на основе амплитудно-импульсного регулятора расхода рабочей жидкости гидросистемы. Приводится принципиальная схема управления подачей инструмента гидросуппорта с обратной электрогидравлической связью, алгоритм и описание работы разработанной автоматической системы, математическая модель ее функционирования, доказывающая возможность получения стабильных подач инструмента независимо от изменения величины осевой составляющей силы резания. Автоматическая система содержит задающее устройство, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, шаговый двигатель или сервопривод с управлением через обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения и устанавливать различные значения подач гидросуппорта с помощью специально разработанной программы в зависимости от вида материала, обрабатываемого на станке. Поскольку в разработанной автоматической системе используется программно-задающее устройство, система может быть использована при модернизации и создании новых станков, предназначенных не только для чистовых, но и для черновых видов обработок.

Ключевые слова: токарный станок, автоматическое управление, подача гидросуппорта, микроконтроллер

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR FILLING A HYDRAULIC SUPPORT OF A TURNING MACHINE

¹Kadyrov I.Sh., ¹Temirbekov Zh.T., ¹Turusbekov B.S., ²Volkhonov M.S.¹Kyrgyz national agrarian University K.I. Skryabin, Kirghizstan, Bishkek, e-mail: bdtu_kg@mail.ru;²Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Kostroma region, e-mail: vms72@mail.ru

Ensuring the stability of small tool feeds on metal cutting machines is an urgent task. The instability of the supply of the tool occurs due to the reasons for the low flow rate of the liquid entering the working cavity of the hydraulic support and obliteration of the working slots of the throttle control hydraulic system. In order to exclude the influence of these factors, a discrete control is applied by feeding the hydraulic support tool with automatic adjustment of turning processes based on microcontrollers. Basing on the amplitude-pulse regulator of the hydraulic fluid flow rate the authors developed an automatic system with a software control for feeding the lathe hydraulic support tool. The article also presents a schematic diagram of the feed control of a hydraulic support tool with reverse electro-hydraulic coupling, the algorithm and the description of the developed automatic system, the mathematical model of its functioning, proving the possibility of obtaining stable tool feeds regardless of changes in the axial component of the cutting force. The automatic system contains a master device, an amplifier, an analog-to-digital converter, a microcontroller, a stepper motor or a servo drive with a feedback control that allows to control precisely the movement parameters and to set various hydraulic feed rates using a specially designed program depending on the type of material processed on the machine. Since the developed automatic system uses a program-setting device, the system can be used to modernize and create new machines designed not only for finishing, but also for rough machining.

Keywords: lathe, automatic control, hydraulic support feed, microcontroller

Известно, что проблемой чистовой обработки изделий на металлорежущих станках является обеспечение стабильности малых подач инструмента. Это происходит по причине малого расхода жидкости, поступающей в рабочую полость гидросуппорта. Еще одна причина в том, что при применении дроссельного регулирования рабочие щели гидросистемы размером меньше 0,1 мм могут зарастиваться крупными молекулами или твёрдыми частицами рабочей

жидкости в виде твёрдой кристаллической решётки вплоть до полного закупоривания проходного сечения из-за так называемого явления – облитерации, существенно снижающей работоспособность и эксплуатационную надёжность гидравлической системы вплоть до полной прекращения подачи жидкости [1].

Степень облитерации уменьшается при повышении температуры и увеличивается при возрастании давления. При сдвиге сте-

нок щели относительно друг друга адсорбционные слои разрушаются и облитерация устраняется. Но при отсутствии подвижки стенок облитерация восстанавливается в течение 1–2 мин [2].

Для корректировки процессов токарной обработки авторы в работе [3] предлагают использовать нейронные сети. Однако такие системы сегодня находятся на стадии проектных и опытно-конструкторских разработок, а для автоматизации процессов в системах средней сложности нашли широкое применение микроконтроллеры [4, 5].

О преимуществе дискретного регулирования подачи инструмента гидросуппорта по сравнению с другими способами – дроссельным, объёмным – подробно рассказано в работе [6], поэтому разработка такой системы с автоматическим регулированием подачи инструмента является актуальной задачей.

Цель исследования: разработка автоматической системы с программным управлением подачей инструмента с об-

ратной электрогидравлической связью, обеспечивающей стабильные малые подачи инструмента.

Материалы и методы исследования

Для изготовления качественных изделий при черновой и получистовой видах токарной обработки необходимо стабилизировать значения радиальной составляющей силы резания P_y путем регулирования подачи инструмента U_y [7]. На рис. 1 приведена принципиальная схема автоматической системы управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсным регулированием. Система работает следующим образом. При возрастании радиальной составляющей силы резания – это может произойти по различным причинам: изменения твердости материала, припусков по длине обработки, износа резца, температурных деформаций и др., изменяется выходной сигнал силовометрического датчика U_x , что приводит к изменению сигнала рассогласования $U = U_x - U_0$.

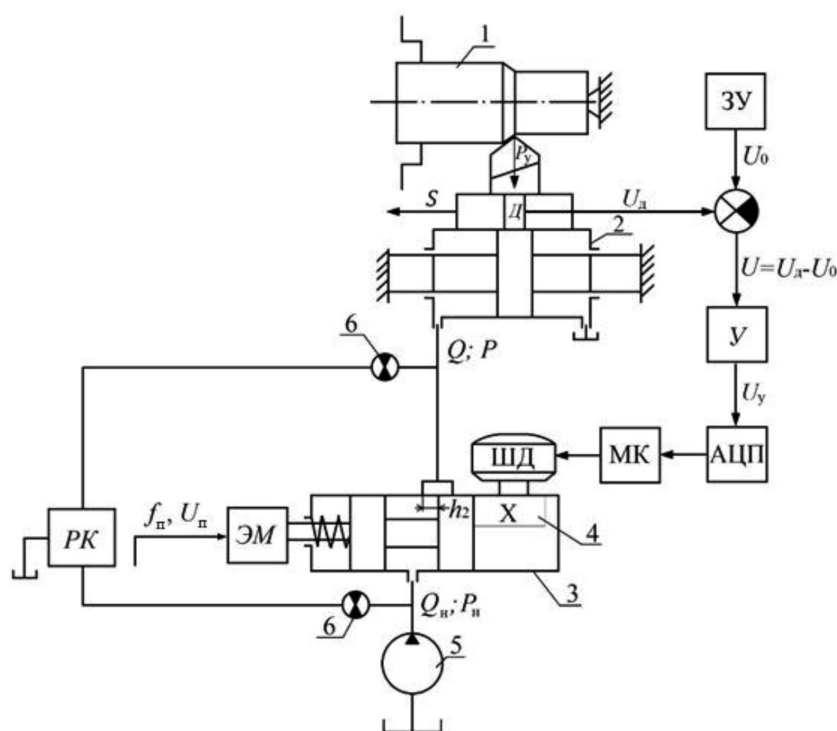


Рис. 1. Принципиальная схема управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка амплитудно-импульсным регулированием расхода жидкости: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – гидросуппорт с инструментом; 3 – регулятор расхода; 4 – эксцентрик; 5 – насос; 6 – демпфер; P_y – радиальная составляющая силы резания; S – подача инструмента; D – силовометрический датчик; ЗУ – задающее устройство; U_x и U_0 – сигналы датчика и ЗУ; U – усилитель; U_y – усиленный сигнал; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; ШД – шаговый электродвигатель; РК – редукционный клапан; ЭМ – электромагнит; h – величина открытия щели; Q_n , P_n и Q , P – соответственно расходы и давления жидкости, U_n , f_n – соответственно напряжение и частота тока промышленной сети

В связи с тем, что сигнал рассогласования U слаб по мощности, применен усилитель U . Сигнал от усилителя U_y поступает в ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, далее в МК – микроконтроллер, который управляет шаговым двигателем. Шаговый двигатель поворачивает эксцентрик, имеющий соответствующий профиль. При этом величина открытия рабочей щели регулятора и расход жидкости, поступающей в силовой цилиндр, уменьшаются, что приводит к снижению подачи инструмента гидросуппорта, а радиальная составляющая силы резания P_y становится постоянной.

При уменьшении силы P_y все процессы в автоматической системе происходят в обратном порядке и в конечном итоге за счет увеличения величины открытия щели регулятора расхода жидкости подача инструмента возрастает до установленного значения.

Формула для определения подачи инструмента при наличии обратной связи имеет следующий вид [8]:

$$S = \frac{Q}{F} - k_{yt} \frac{(P_x \pm \Delta P_x)}{F^2} \pm k_3 \Delta h, \quad (*)$$

где P_x – нагрузка в гидросуппорте; ΔP_x – изменение нагрузки в гидросуппорте; Δh – изменение щели регулятора расхода под действием электромеханической обратной связи; $k_3 = \mu \pi d \sqrt{(2g/\gamma) \cdot (\Delta t/T)}$ – коэффициент усиления регулятора расхода.

При увеличении нагрузки ΔP_x и третий член уравнения будут со знаком плюс, при уменьшении нагрузки будут иметь знак минус.

Постоянство подачи инструмента в чистовых механических обработках позволяет существенно повысить качество изготовления изделий – точность геометрических размеров и чистоту обработанной поверхности.

При возрастании нагрузки в силовом цилиндре гидросуппорта станка увеличиваются утечки в нем, что приводит в начале к уменьшению величины подачи, но при этом за счет воздействия обратной электрогидравлической связи происходит увеличение проходной щели регулятора расхода на величину Δh , что способствует увеличению подачи жидкости в силовой цилиндр ровно настолько, чтобы подача инструмента оставалась стабильной.

Нами были проведены экспериментальные исследования стабилизации подачи инструмента гидросуппорта, имеющего обратную электрогидравлическую связь и без нее.

Эксперименты были проведены на универсальном гидравлическом стенде, фотография которого представлена на рис. 2, а его схема – на рис. 3. В регуляторе рас-

хода 8 с помощью эксцентрика 18 устанавливалась определенная величина открытия рабочей щели h по показаниям микрометрического индикатора 16. Скорость перемещения гидросуппорта измерялась микроамперметром, подключенным к индукционному датчику 4.

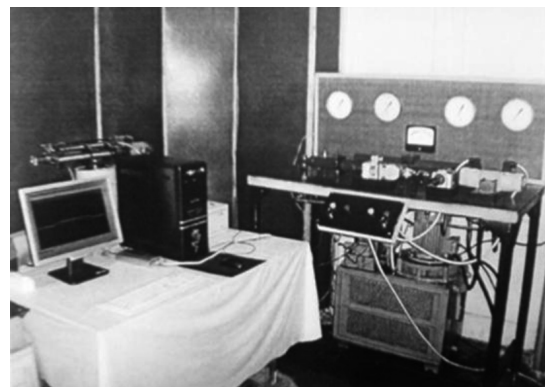


Рис. 2. Универсальный гидравлический стенд

С помощью напорного золотника 12 (Г54-11) осуществляются различные нагрузки в гидроцилиндрах 1 и 2. Полученные результаты представлены в табл. 1 и 2. Следует отметить, что с помощью программного задающего устройства, представляется возможным в зависимости от производственной потребности, связанной с обработкой различных материалов при разных режимах, устанавливать различные значения подач инструмента гидросуппорта и изменять по заданному закону, что обеспечивает универсальность разработанной системы управления режимами работы станка.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработано программное устройство, состоящее из усилителя, АЦП, микроконтроллера и двигателя. Возможны два варианта реализации устройства. В качестве управляющего элемента, в обоих случаях применяется 8-разрядный микроконтроллер Atmega16A. При работе устройства аналоговый сигнал от датчика поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП преобразует значение напряжения входного сигнала в двоичное число, которое передается на микроконтроллер. Далее микроконтроллер осуществляет поворот оси двигателя на угол, соответствующий значению, полученному от АЦП. Следует учесть, что АЦП работает в пределе от 0 до 5 В. Более высокие значения напряжения будут считаться равными 5 В.

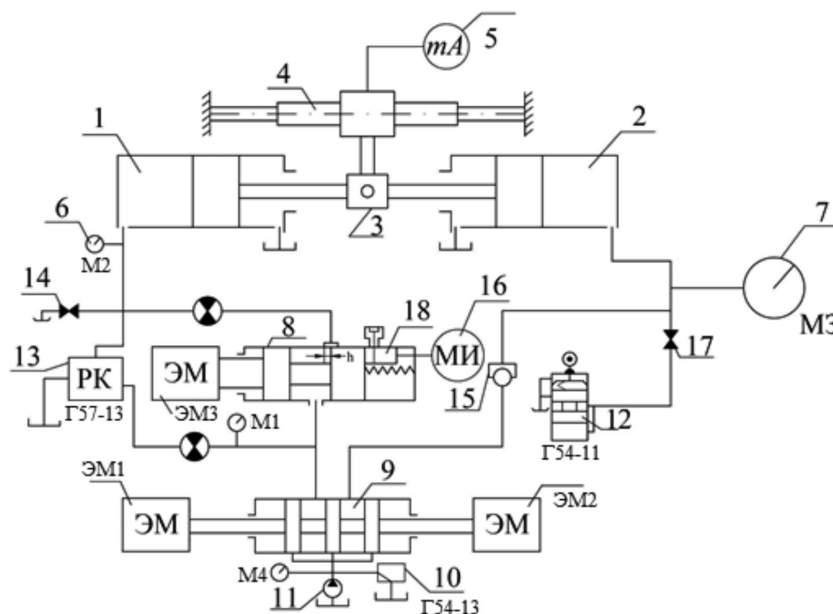


Рис. 3. Гидравлическая схема стенда: 1, 2 – гидроцилиндры; 3 – муфта; 4 – индукционный датчик скорости; 5 – микроамперметр; 6, 7 – манометры; 8 – регулятор расхода; 9 – распределитель рабочей жидкости; 10 – предохранительный клапан; 11 – насосная установка; 12 – напорный золотник; 13 – редукционный клапан; 14, 17 – краны; 15 – обратный клапан; 16 – микрометрический индикатор; 18 – эксцентрик

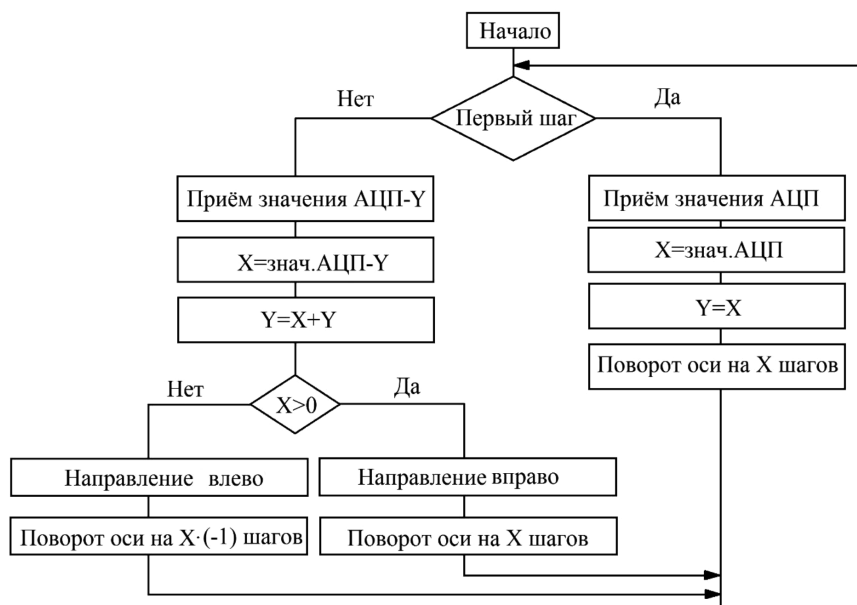


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы программы

В варианте с шаговым электродвигателем блок-схема алгоритма работы программы приведена на рис. 4. На первом шаге программа выполняется следующим образом.

Переменной X присваивается значение, полученное от АЦП, это же значение сохраняется в переменной Y . Далее происходит

поворот оси шагового двигателя на X шагов, после чего программа возвращается в начало. На всех последующих этапах выполнение программы происходит так. Переменной X присваивается вновь полученное значение АЦП за вычетом значения переменной Y , в которой хранится предыдущее

значение АЦП. После этого значение переменной Y обновляется. Далее происходит вычисление направления вращения шагового двигателя: если $x > 0$, то направление «вправо», если $x < 0$, то направление «влево». После вычисления направления происходит поворот оси шагового двигателя на X шагов, в соответствующем направлении, после чего программа вновь возвращается в начало. Таким образом, выполнение программы происходит непрерывно, пока включено питание.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 5. Функции блока управления выполняет микроконтроллер Atmega16A. На вывод 40 поступает сигнал от датчика. Выводы микроконтроллера 1, 2, 3, 4 осуществляют управление ключевой схемой, выполненной на транзисторах VT1 – VT4. Резисторы R1 – R4 служат для ограничения тока базы транзисторов. В коллекторную цепь транзисторов включены обмотки шагового двигателя. Средние точки обмоток двигателей подключены к плюсу источника питания [9]. Поскольку нагрузка индуктивная, в схеме применены защитные диоды VD1 – VD4. Защитные диоды увеличивают время спада тока в обмотках шагового двигателя [10], через них последовательно с ограниченным резистором R5, ЭДС самоиндукции возвращается в источник питания +5 В. Такое решение снижает максимально возможную частоту вращения шагового двигателя. Без диодов время спада тока окажется минимальным, двигатель сможет вращаться быстрее, но при этом возника-

ют опасные для транзисторов броски ЭДС самоиндукции, которые могут превысить допустимое для них напряжение 60 вольт и привести к их повреждению. Резисторы R1 – R4 – 1 кОм, резистор R5 – 200 Ом, 2 Вт. Транзисторы VT1 – VT4 – КТ829А. Диоды VD1 – VD4 – 1N4007. Шаговый двигатель любой униполярного типа.

В варианте с сервомотором осуществляется управление через обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения. В его составе имеется датчик положения и блок управления приводом, автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике и, соответственно, на устройстве согласно заданному внешнему значению ШИМ. Блок-схема алгоритма работы программы приведена на рис. 6. На каждом шаге цикла производится опрос АЦП с последующим вычислением скважности ШИМ сигнала. Скважность ШИМ рассчитывается по эмпирической формуле как скважность ШИМ = (значение АЦП/4) + 20. Для обеспечения нормальной работы программы после каждого преобразования осуществляется программная задержка длительностью 0,01 с. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 7. Функция блока управления выполняет микроконтроллер Atmega16A. На вывод 40 поступает сигнал от датчика. На выводе 4 генерируется сигнал ШИМ, который через ограничительный резистор R1 поступает на управляющий вывод сервомотора. Резистор R1 – 500 Ом.

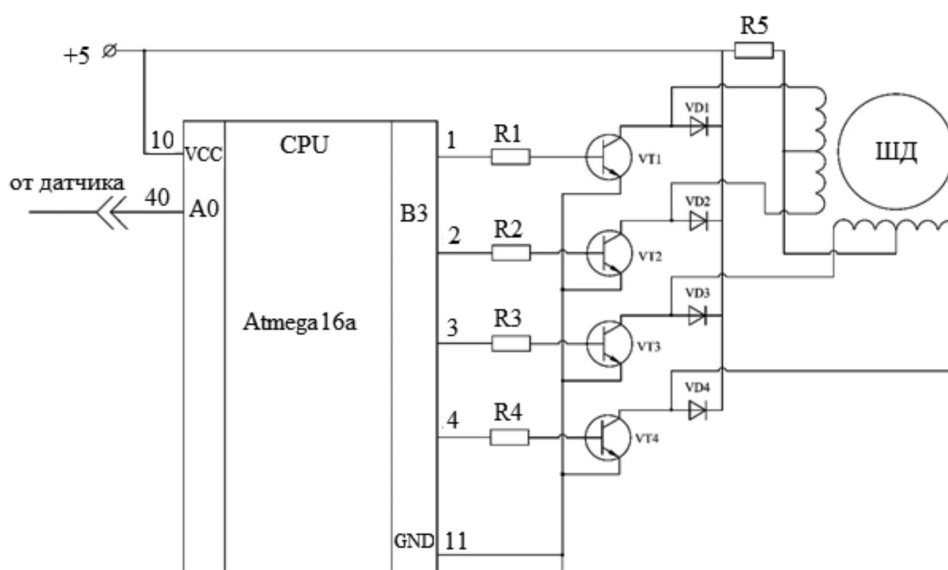


Рис. 5. Принципиальная схема устройства



Рис. 6. Блок-схема программы

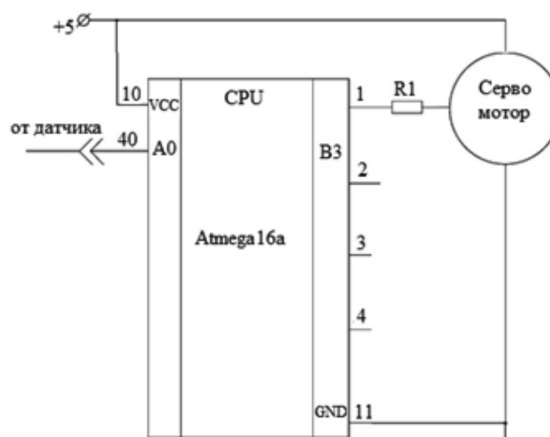


Рис. 7. Принципиальная схема устройства управления сервомотором

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования изменения скорости гидросуппорта без обратной гидравлической связи: $-h = 0,001$ см

$h = 0,001$ см					
Давление на нагру- зочном цилиндре, P_2 , кг/см ²	Разница между вторым и первым измерением давлени- я, ΔP , кг/см ²	Эксперимен- тальное значение скорости подачи гидросуппорта, $S_{экс}$, мм/мин	Уменьшение скорости подачи при различных нагрузках, $\Delta S_{экс}$, мм/мин	Расчетное значение ско- рости подачи $S_{рас}$, мм/мин	Разница между рас- четным и экспери- ментальными значениями скорости подачи, $\Delta S_{рас}$, мм/мин
2,5	2,5	82,5	16,0	87,5	11,0
5,0	2,5	66,5	11,0	76,5	11,5
7,5	2,5	55,0	10,0	65,0	15,0
10,0	2,5	45,0	16,5	50,0	15,0
12,5	2,5	18,5	13,5	35,0	17,5
15,0	—	5,0	—	17,5	—

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования изменения скорости гидросуппорта с обратной гидравлической связью: $-h = 0,001$ см

$h = 0,001$ см					
Давление на нагру- зочном цилиндре, P_2 , кг/см ²	Разница между вторым и первым измерением давлени- я, ΔP , кг/см ²	Эксперимен- тальное значение скорости подачи гидросуппорта, $S_{экс}$, мм/мин	Уменьшение скорости пода- чи при различ- ных нагрузках, $\Delta S_{экс}$, м/мин	Расчетное значение скорости подачи $S_{рас}$, мм/мин	Разница между рас- четным и экспери- ментальным значени- ями скорости подачи, $\Delta S_{рас}$, мм/мин
2,5	2,5	86,88	0,01	86,89	0,01
5,0	2,5	86,87	0,01	86,88	0,01
7,5	2,5	86,86	0,03	86,87	0,02
10,0	2,5	86,83	0,03	86,85	0,03
12,5	2,5	86,80	0,03	86,82	0,05
15,0	—	86,75	—	86,77	—

Результаты экспериментальных исследова- ний стабилизации подачи инструмента гидросуппорта, имеющего обратную элект- рогидравлическую связь, представлены в табл.2, без нее в табл. 1.

Полученные экспериментальные ре- зультаты позволяют утверждать, что на- личие обратной электрогидравлической связи существенно стабилизирует подачу инструмента — стабилизация составляет

0,05...0,4%, т.е. практически подача постоянная при изменении нагрузки в пределах увеличения до 5 раз.

Разработанная автоматическая система с программным управлением подачей инструмента гидросуппорта токарного станка на основе амплитудно-импульсного регулятора расхода рабочей жидкости гидросистемы исключает возможность образования облитерации рабочих щелей гидросистемы и обеспечивает стабильную подачу инструмента независимо от изменения величины осевой составляющей силы резания. Так как в разработанной автоматической системе используется программно-задающее устройство, система может быть использована при модернизации и создании новых станков, предназначенных не только для чистовых, но и для черновых видов обработок.

Выводы

1. Разработана математическая модель объекта управления, позволяющая определить структуру микропроцессорного управления подачей инструмента гидросуппорта токарного станка.

2. Разработана автоматическая система управления подачей гидросуппорта токарного станка с амплитудно-импульсным регулированием расхода рабочей жидкости и обратной электрогидравлической связью, обеспечивающая стабильные подачи при изменении нагрузки. Стабилизация составляет 0,05...0,4% при пятикратном увеличении нагрузки.

Список литературы

1. Мулюкин О.П., Береснев В.Л., Путилин С.В., Бугаков В.А. Снижение влияния деструктивных факторов на работоспособность клапанны-седельных затворов «конус – острая кромка» // Символ науки. 2016. № 7–2 (19). С. 73–83.
2. Шумилов И.С., Чурсова Л.В., Седова Л.С. Рабочие жидкости авиационных гидросистем, их свойства // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Наука и образование. 2014. № 04. С. 187–226.
3. Рязанов Д.Ю. Принципы управления токарной обработкой на основе нейронных сетей с целью повышения точности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S4–6. С. 36–39.
4. Дубенко Ю.В., Тимченко Ю.Н., Тимченко Н.Н. Обзор современной элементной базы в рамках концепции «умных» сетей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. Выпуск 121. С. 1595–1607.
5. Волхонов М.С., Смирнов И.А., Полозов С.А., Габалов С.Л., Волхонов Р.М. Способ управления состоянием слоя в аэродинамических системах машин для послеуборочной обработки материала и устройство для его осуществления // Патент РФ № RU 2558737 C2. Патентообладатель ГСХА. 2015. Бюл. № 22.
6. Муслимов А.П., Нифадьев В.И., Пахомов П.И. Расчет и конструирование гидравлических систем и машин. Бишкек, изд-во КРСУ, 2006. 164 с.
7. Муслимов А.П. Расчет и конструирование гидравлических систем станков. Бишкек, Изд-во КРСУ, 2009. 240 с.
8. Сурогина В.А., Калашников В.И. Информационно-измерительная техника и электроника. М.: Высшая школа, 2006. 512 с.
9. Молчанов И.В. Разработка автоматической системы программного управления подачей инструмента в металлорежущих станках // Современные техника и технологии в научных исследованиях. 2019. С. 123–129.
10. Колосков С.Ю., Захаров П.В., Леготкин Н.В. Управление униполярным шаговым двигателем с помощью USB персонального компьютера. Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2014. № 3. С. 151–154.