

Анализ процессов в гидравлической системе плоскошлифовального станка с возвратно-поступательным движением стола, влияющих на качество обработки и эффективность работы привода

¹*НИКОНОВА Татьяна Юрьевна, к.т.н., доцент, nitka82@list.ru,

¹КАМЗЕ Азат Габдулманатович, докторант, kamze@list.ru,

¹СИНЬКО Александр Николаевич, к.т.н., доцент, sinko1947@mail.ru,

¹ДАНДЫБАЕВ Есим Серикович, старший преподаватель, sealmasterkz@gmail.ru,

¹ИМАШЕВА Кульжан Имашевна, старший преподаватель, imasheva-gulzhan@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. На основе проведенных исследований авторами проводится системный анализ гидравлической системы плоско-шлифовального станка. Рассмотрены зависимости работы гидравлической системы движения стола с возвратно-поступательным движением от эффективности работы станка, качества обработки, точности обработки. В ходе исследования были проанализированы гидравлические схемы гидравлической системы перемещения стола в разных исполнениях. Проведен обзор различных решений для плоскошлифовальных станков с возвратно-поступательным движением рабочего стола. Кратко описаны принципы работы гидравлического привода, характерные свойства, преимущества и недостатки. Рассмотрены решения от простейших систем с механическими элементами управления до сложных систем с использованием регулируемого источника подачи гидропривода, с электронным контролем и управлением. Были описаны блок-схемой принципы работы подачи сигналов электронными компонентами, электро-пропорциональным управлением рабочими органами.

Ключевые слова: плоскошлифовальный станок, гидропривод станка, возвратно-поступательное движение стола, гидравлическая схема станка, гидравлическая система станка.

Введение: Гидропривод универсальных металлорежущих станков может обеспечивать как главное движение инструмента, а именно в строгальных и долбежных станках, так и движение подач продольно-возвратного перемещения столов в станках шлифовальной группы.

В результате ранее проведенных исследований сделали вывод, что влияние различных причин на качество и точность обработки станка может быть такое, как: рывок и вибрация во время гидроудара после смены направления движения стола; влияние вязкости гидравлического масла на амплитуды колебаний, влияние температуры окружающей среды на вязкость гидравлического масла; влияние вибрации внешних сил, включая конструкцию станка и здания; возникновение вибрации станка без нагрузки в ходе разбалансировки шлифовального круга, вибрации у источника

гидравлического привода (насоса), вибрации гидравлической системы при нагрузке на гидроцилиндр и вибрации конструкции стола при нагрузке при обработке; возникновение кавитационных процессов в гидравлической системе и движение воздуха; влияние скорости движения масла в трубопроводе на плавность движения.

Многие из вышеуказанных причин генерируются по своему происхождению от гидравлической системы станка. Поэтому были продолжены работы по изучению влияния гидравлической системы на работу станка.

В работе, изучая гидравлическую систему возвратно-поступательного перемещения стола с заготовкой у универсальных плоскошлифовальных станков, анализируя существующие технические решения, выявили существующий потенциал для модернизации гидравлического контура.

Методы исследования: С целью дальнейшего изучения процессов, происходящих в гидравлической системе станка, выявления и исследования вероятных причин и отклонений от нормальной работы гидравлической системы как источников возникновения вышеперечисленных отрицательных факторов, влияющих на качество обработки, произведено описание типичной классической гидравлической схемы и далее разные исполнения гидравлических схем различных модификаций плоскошлифовального станка.

На рисунке 1 изображена гидравлическая схема классического универсального плоскошлифовального станка.

Принцип работы:

Насос по средствам электродвигателя подает рабочий расход в систему; предохранительный клапан 3 обеспечивает настройку рабочего давления, согласно настройке гарантирует создание необходимого усилия для движения корпуса гидроцилиндра рабочего стола; гидравлический распределитель 6 запускается с пульта управления в положение а, рабочая жидкость поступает в левую полость гидроцилиндра, происходит движение стола с заготовкой влево.

При достижении в крайнем положении концевого выключателя 17, автоматикой в автоматическом режиме происходит переключение режима, гидравлический распределитель переключается в положение б; происходит торможение гидроцилиндра. Гидросистема достигает пикового значения давления, создает рабочее давление в правой полости гидроцилиндра, при этом стол с заготовкой по инерции завершает свой путь влево для того момента, чтобы сменить направление движения. Избыточная жидкость от насоса сбрасывается через предохранительный клапан 3 в бак, достигнув пикового давления.

По такому же принципу часть жидкости из гидроцилиндра поступает из правой полости под нагрузкой инерции движения и сливается через клапан в бак. В момент создаваемая нагрузка электродвигателем и насосом работает в нагруженном режиме до тех пор, пока не произойдет смена направления движения. Далее происходит остановка движения стола и смена направления движения. Избыточная рабочая жидкость из правой полости гидроцилиндра более не поступает в слив, но рабочая жидкость, создаваемая насосом, продолжает сливаться через предохранительный клапан до тех пор, пока стол после смены направления движения не наберет требуемой скорости, обеспечиваемой насосом. Происходит начало движения в другом направлении, процесс повторяется до следующего цикла.

Далее предоставляются различные усовершенствованные модификации вышеописанной схемы с улучшением рабочих параметров.

На рисунке 2 представлена схема с включенным в контур двухпоточным регулятором расхода, компенсированным по давлению. Для выравни-

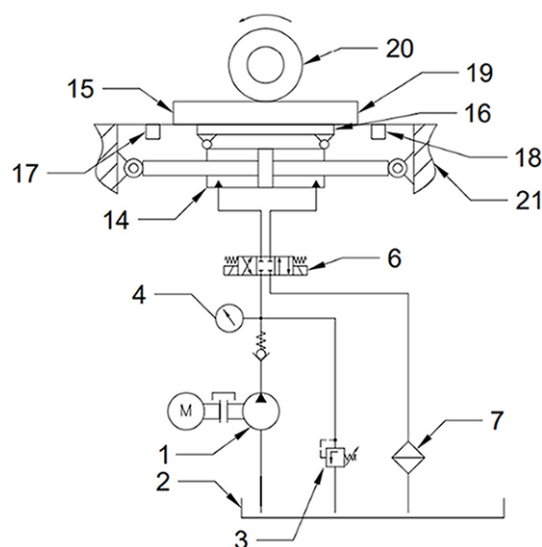


Рисунок 1 – Гидравлическая схема

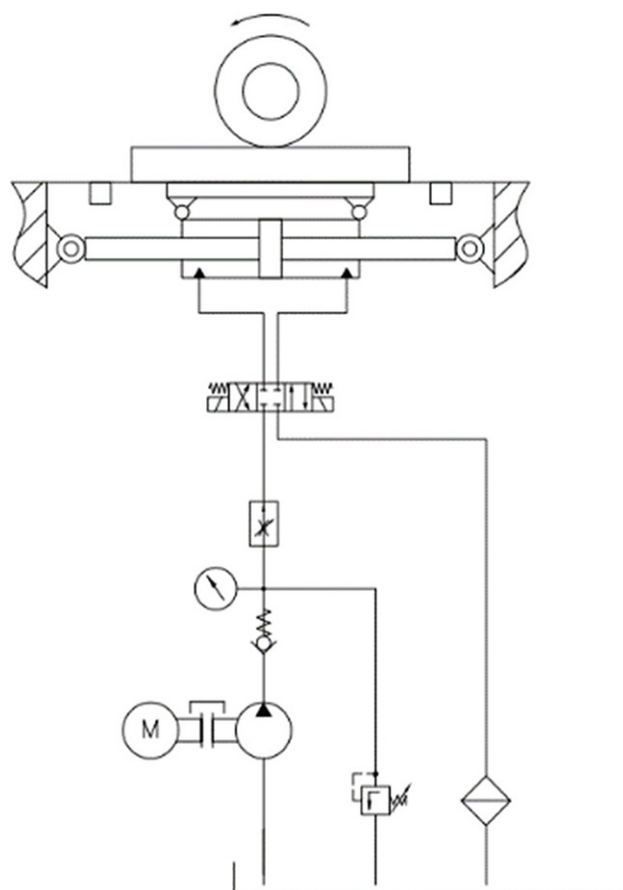


Рисунок 2 – Схема с выравниванием скорости перемещения стола

нивания в схему разработчик добавил регулятор расхода.

На рисунке 3 представлена схема с регулировкой скорости движения стола. С помощью дополнения в линию регулятора расхода со сливом в бак возможно регулировать скорость движения в одной или двух направлениях движения.

Не менее распространена схема с использованием механических концевых выключателей на конце золотников гидравлического распределителя, которые при нажатии подают давление от пилотного клапана на золотник основного гидравлического распределителя, переключая его в обоих направления движения.

На рисунке 4 представлена данная схема с дополненным пилотными клапанами.

Станок использует электромагнитный гидравлический распределитель для направления перемещения рабочей жидкости в рабочую полость.

Основной гидравлический распределитель выступает в качестве органа управления. Бесконтактный переключатель выступает на схеме в качестве блока управления, а электрическое реле образует логическую связь.

Логическая операция управляющего сигнала и усиление его мощности могут быть дополнены другими компонентами, таким образом, генерируя достаточное количество обратной связи от концевых выключателя, возможно управлять электромагнитами гидравлического распределителя.

Логика работы гидравлической системы управления с использованием дискретного электромагнитного распределителя работает следующим образом. Сигнал управления подается от концевых выключателя. Результатом является

логический сигнал (0 или 1). Сигнал управления каждого электромагнита гидравлического распределителя генерируется логической работой реле и источником питания. Достаточно иметь 3 управляющих сигнала для гидравлического распределителя – включение левой катушки (перемещение стола влево), правой катушки (перемещение стола вправо) и обесточивание обеих катушек (остановка).

В данной системе управления, состоящей из электромагнитного распределителя, концевых выключателей и реле, система может давать только простые команды. Сигнал управления является односторонним (т.е. поступает только в одном направлении: концевой выключатель – электромагнитная катушка).

Время отклика команды управления на управляемый объект зависит от времени отклика каждого компонента системы.

Система управления простая, проблема с отслеживанием исполнения сигнала отсутствует.

В случае нарушения работы одного из компонентов (выхода из строя выключателя, реле или катушки распределителя) система выполняет ложные переключения, имитируя работу станка, при этом процесс фактически останавливается, система не может распознать неисправность.

Для управления перемещением стола с более

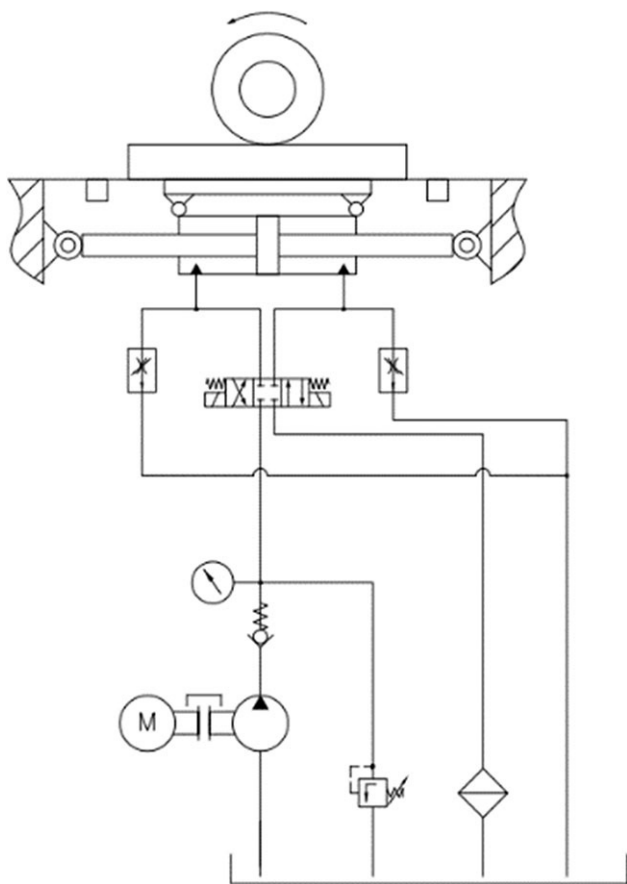


Рисунок 3 – Схема с регулировкой скорости движения стола

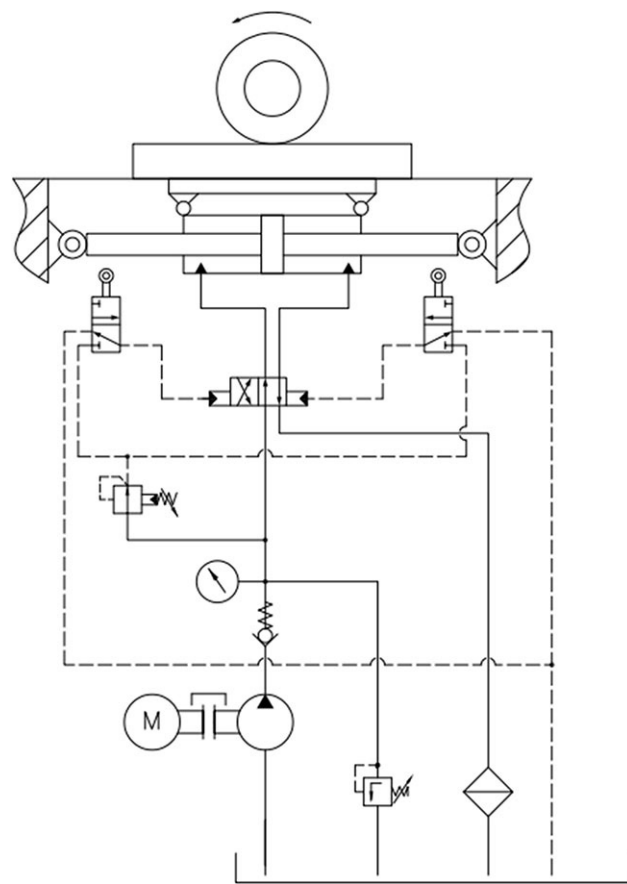


Рисунок 4 – Схема с регулировкой скорости движения стола

высокими требованиями по производительности, например, плоскошлифовальный станок с числовым программным управлением (без точного позиционирования положения), пропорциональный распределитель может использоваться в органах управления гидравлической системой с низкими ударными характеристиками и низкой вибрацией.

Пропорциональный распределитель регулируется положением золотника для регулировки скорости движения. Чтобы контролировать открытие распределителя, необходимо задать определенный сигнал на катушку, который создает усилие на золотнике и тем самым ограничивает движение жидкости распределителя.

Недостатком данной схемы (рисунок 5) является то, что перепады давления на золотнике создают дополнительные усилия, влияя на характеристику расхода жидкости на распределителе в зависимости от входного сигнала.

Контроллер генерирует электрические сигналы, управляющие расходом подачи рабочей жидкости в полости гидроцилиндра, с изменением электрического сигнала может увеличивать и уменьшать ее в процессе перемещения, изменяя скорость и направление движения стола.

Стол станка останавливается, изменение направления происходит плавно, почти не оказывает заметного влияния.

Сигнал управления выдается программным контроллером. Сигнал аналогового управления (непрерывный электрический сигнал), который усиливается усилителем для управления одной из катушек пропорционального распределителя (в зависимости от направления движения).

В системе управления на основе пропорционального распределителя, так же, как и в системе управления простым электромагнитным распределителем, сигнал подается в одностороннем направлении и не имеет обратной связи. Система не

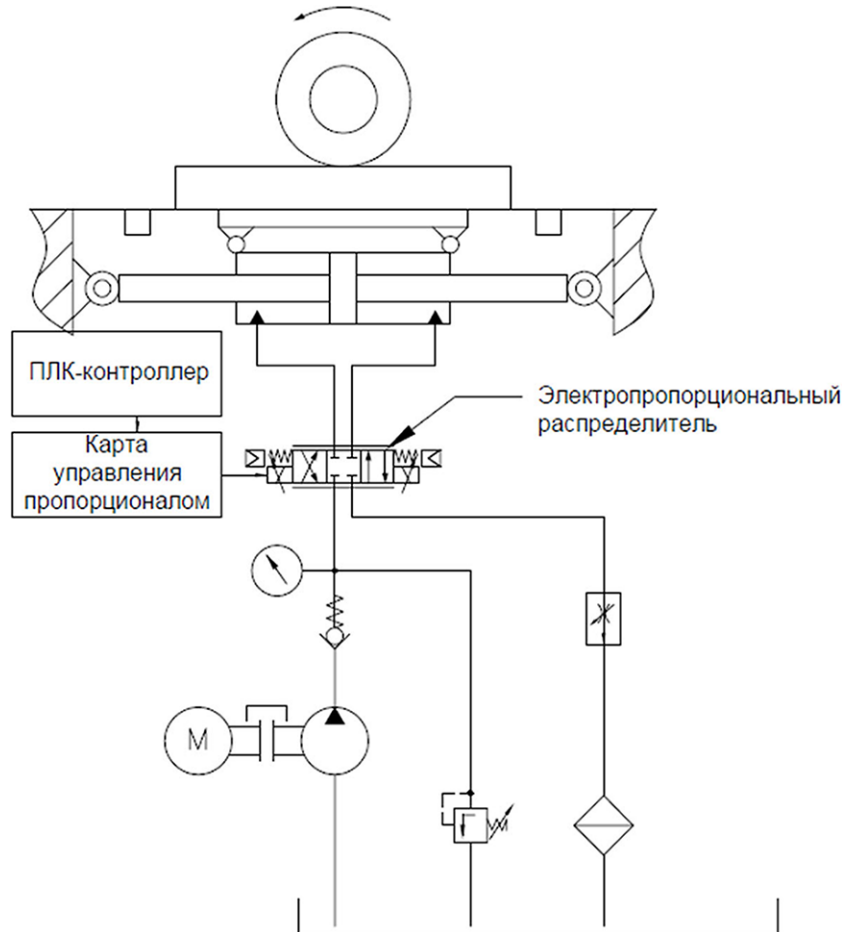


Рисунок 5 – Гидравлическая схема с использованием электропропорционального гидрораспределителя

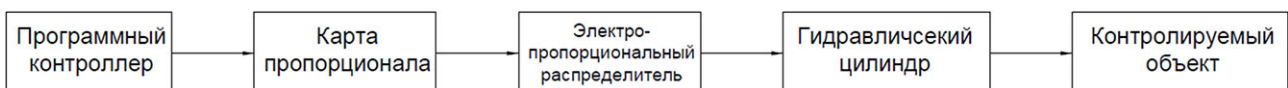


Рисунок 6 – Блок-схема управления системы с пропорциональным распределителем

отслеживает выполнение хода операция в соответствии с входными управляющими сигналами и не способна выявить некорректное исполнение рабочих органов в случае неисправностей на любом из отрезков пути сигнала и неисправности одного из компонента.

Гидравлическая система управления на сервоклапане (рисунок 7) предназначена для движения рабочего стола станка с ЧПУ – это движение подачи в процессе обработки, требующее высокой точности и скорости обратной связи. Можно использовать электрогидравлическую систему сервоуправления. В качестве органа управления используется сервоклапан.

Сервоклапан используется в системе управления с обратной связью.

Контроллер сравнивает выходной сигнал на датчике положения штока гидроцилиндра (либо датчике положения стола станка) с подаваемым на катушку сигналом с высокой скоростью отклика, чтобы вносить изменения во входящий сигнал на катушку сервоклапана.

Сигнал отклонения представляет собой непрерывное аналоговое напряжение, которое может точно в режиме реального времени отражать разницу между положением стола станка и входным сигналом на сервоклапан.

Сигнал отклонения усиливается пропорциональным усилителем и контролируется положение золотника сервоклапана с высокой точностью и динамикой. Движение стола фиксируется датчиком положения и передается на контроллер.

Таким образом, формируется закрытый контур. Система управления имеет еще название – управление с обратной связью (рисунок 8).

У системы управления с обратной связью возможно не только прямое управляющее воздействие на управляемый объект, но и обратное влияние управляемого объекта на регулятор.

Система управления с обратной связью обладает такими характеристиками, как высокая точность управления, быстрый динамический отклик и автоматическая компенсация внешних помех.

На рисунке 9 представлена усовершенствованная схема модификации универсального плоскошлифовального станка, где в процессе работы применяется регулируемый насос, что помогает поднять энергоэффективность системы и разгрузить пиковые избыточные нагрузки при переключении.

Гидравлическая система управления движением стола усовершенствована, исполнены вопросы безопасности, двухэтапное подтверждение

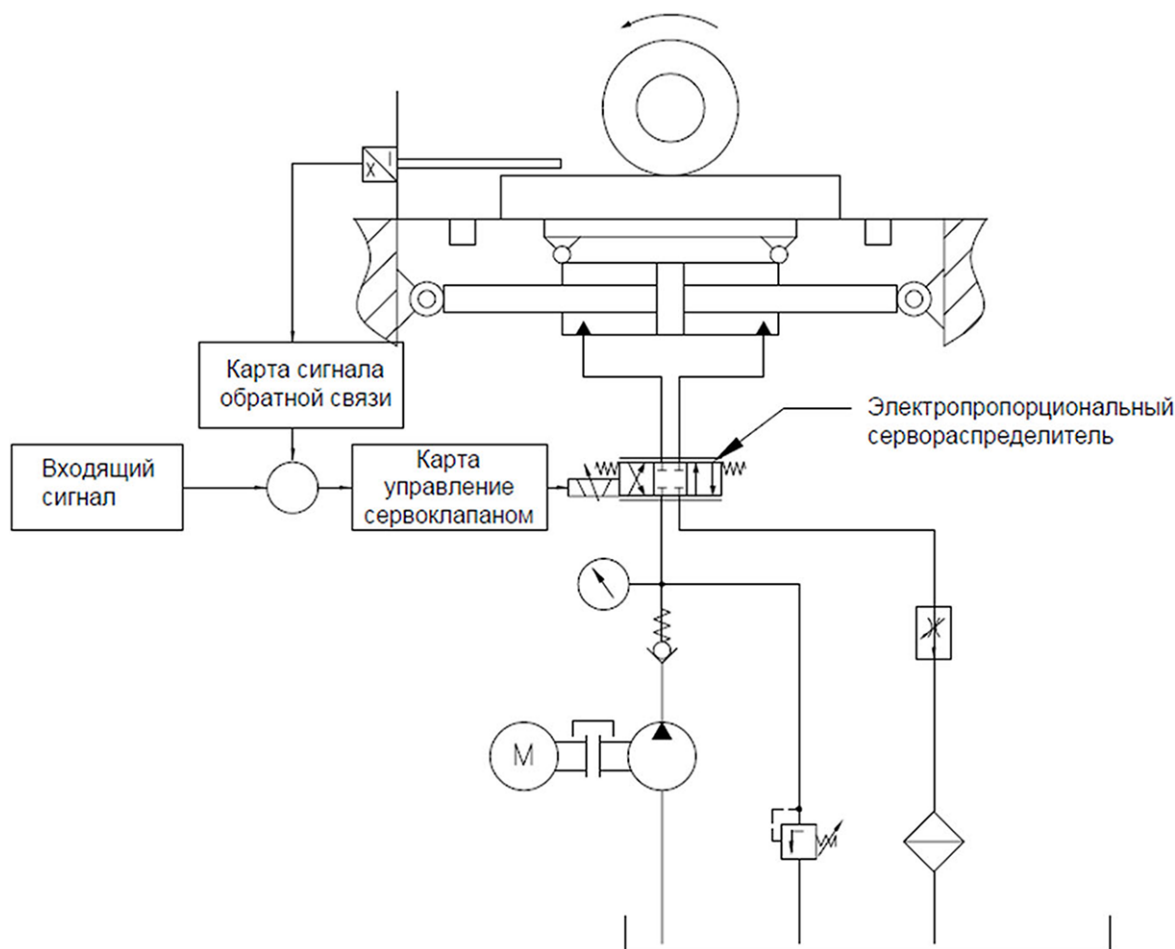


Рисунок 7 – Гидравлическая схема с использованием сервоклапана

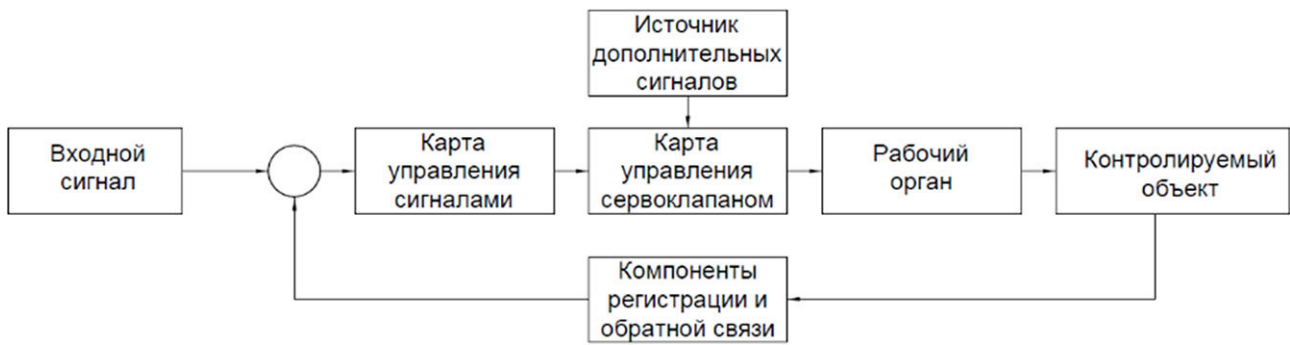


Рисунок 8 – Схема управления сервоклапаном

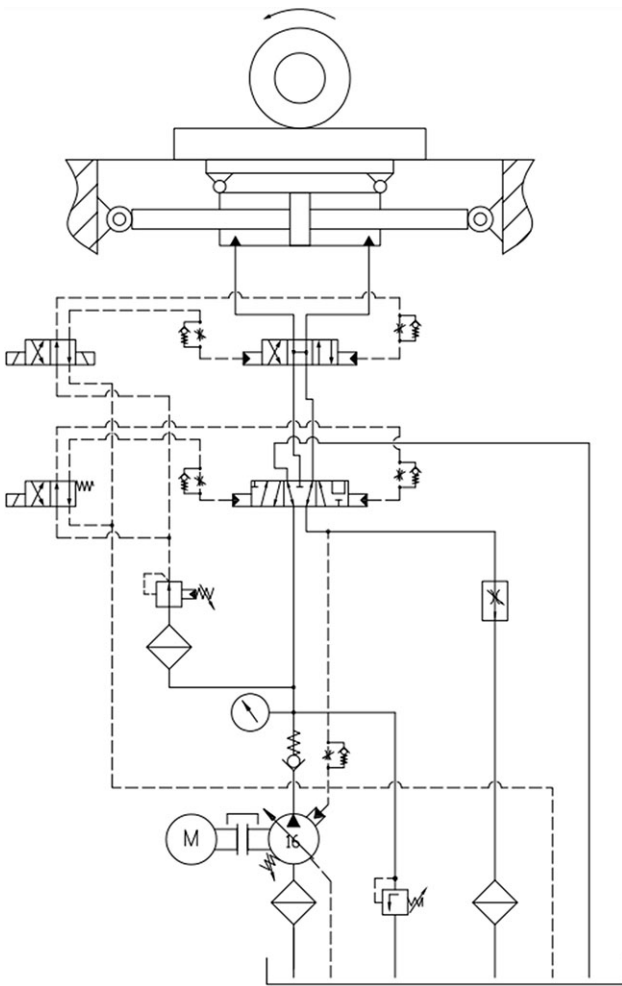


Рисунок 9 – Гидравлическая схема шлифовального станка с регулируемым насосом

движения на одном и втором золотнике, первый из которых выполняет функцию включить/отключить движение стола, а также позволяет в выключенном режиме перемещать стол вручную без нагрузки; второй служит для функции переключения. Оба гидравлических распределителя имеют гидравлическое управление золотником с регуляцией плавности переключения и систему обратной связи на регулируемый насос, что позволяет не выпускать излишки через предохра-

нительную аппаратуру, а ограничивать подачу у источника (на насосе). Данное исполнение имеет достаточную простоту эксплуатации гидросистемы, ее обслуживания без применения электронных систем управления и без пропорционального регулирования гидроаппаратурой скорости потока, сохраняет систему экономически выгодной для применения на универсальных плоскошлифовальных станках.

Обсуждение: Изучая вопросы влияния гидравлической системы на качество и точность обработки, было выявлено, что на качество и точность обработки влияют следующие факторы:

- вопросы стабильности и плавности движения стола;
- плавность смены направления движения стола;
- используемое техническое решение и тип исполнения гидравлической системы;
- скорость перемещения стола;
- возможность изменения скорости движения;
- марка гидравлической жидкости, ее технические параметры;
- температура окружающей среды;
- температура рабочей жидкости;
- вязкость гидравлической жидкости;
- чистота гидравлической жидкости, особенно у систем с электропропорциональным управлением и применением сервоклапанов;
- тип применяемых насосов: регулирование рабочего объема, пульсация у источника воспроизводства давления.

Результаты. В процессе проведенного анализа эксплуатации гидравлической системы движения стола плоскошлифовальных станков возникают следующие вопросы:

- на универсальных плоскошлифовальных станках старого типа с упрощенной гидравлической схемой не обеспечивается плавность перемещения исполнительных органов в процессе обработки заготовок, вибрация и низкая стабильность при смене направления движения, а также при движении с ускорением и торможением выявляется влияние отсутствия плавности на качество обрабатываемой поверхности, в том числе точность;
- на простых универсальных плоскошлифо-

важных станках зачастую отсутствует возможность регулировки в широком диапазоне скорости продольного перемещения исполнительных органов; на более современных моделях регулировка скорости включена в схему в виде типичного ручного управления клапаном с ручным регулированием; при этом в более современных моделях существует сложная система управления скоростью движения стола с пропорциональным управлением и сервоклапанами с мгновенной обратной связью и электроникой, что делает чрезмерно сложным для обслуживания и ремонта станки и на порядок влияет на себестоимость станка;

- на универсальных станках старого образца содержится высокая динамика в периоды продольного перемещения и реверсивного движения исполнительных органов;

- выявлены недостатки в вопросах энергопотребления, у универсальных станков старого образца нагрузка на гидросистему при торможении

удваивается, что почти вдвое поднимает потребность в энергомощности, является неэффективным, при этом в более поздних моделях применяются регулируемые насосы, которые помогают избежать двойную нагрузку;

- выявлены дополнительные возможности для поднятия энергоэффективности гидросистемы управления рабочим столом за счет улавливания и накопления кинетической энергии движения стола и дальнейшего использования ее для придания движения; ни в одной из изученных схем не используется избыточная энергия, запасенная в период торможения массы исполнительных органов на снижении времени разгона в противоположном направлении;

- низкая надежность гидропривода у универсальных плоскошлифовальных станков старого образца, вызванная импульсным ростом давления рабочей жидкости в периоды торможения и набором скорости исполнительных органов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inozemtsev A.N., Trushin N.N. Hydraulics. Fundamentals of design and calculation of volumetric hydraulic drive. Tula, 2009.
2. Smirnov Yu.A., Volkov V.S. Malfunctions of hydraulic drives of machine tools. Rev. 2. Moscow, 2006.
3. Trevisan K., Trenti E., Anderson T., Antsini M. A method of placing working cylinders on a grinding machine and a grinding machine in which this method is implemented. Patent for invention RU 2580966 C2, 04/10/2016. Application No. 2013127594/02 dated 12/07/2011.
4. Prodan Dan, Bucuresteanu Anca, Balan Emilia. Hydraulic safety system for grinding machines with magnetic table. View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate). 2007.
5. Li Wanzhou, Wang Jingchun, Yang Feng, Zou Guobin. An Advanced Selective Hydraulic Control System for the Heavy-Duty Rough Grinding Machine. Proceedings Of The 48th IEEE Conference On Decision And Control, 2009 Held Jointly With The 2009 28th Chinese Control Conference (CDC/CCC 2009). 2009.

Өңдеу сапасына және жетектің тиімділігіне әсер ететін қайтылмалы үстелгі қозғалысы бар беттік тегеру станогының гидравликалық жүйесіндегі процестерді талдау

¹*НИКОНОВА Татьяна Юрьевна, т.ғ.к., доцент, nitka82@list.ru,

¹КАМЗЕ Азат Габдулманатович, докторант, kamze@list.ru,

¹СИНЬКО Александр Николаевич, т.ғ.к., доцент, sinko1947@mail.ru,

¹ДАНДЫБАЕВ Есим Серикович, аға оқытушы, sealmasterkz@gmail.ru,

¹ИМАШЕВА Кульжан Имашевна, аға оқытушы, imasheva-gulzhan@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Өткізілген зерттеулер негізінде жазық ажарлағыш білдектің гидравликалық жүйесіне авторлар жүйелі талдау жүргізеді. Ілгері-қайтармалы қозғалатын үстел қозғалысын қамтамасыз ететін гидравликалық жүйе жұмысының білдек жұмысы тиімділігіне, өңдеу дәлділігіне және сапасына тәуелділігі қарастырылған. Зерттеулер барысында әр түрлі орындалу кезінде үстелдің қозғалысы гидравликалық жүйенің гидравликалық сызбасына талдау жасалды. Ілгері-қайтарма қозғалатын жұмыс үстелі бар жазық ажарлағыш білдектерге арналған түрлі шешімдерге шолу жасалды. Гидравликалық жетектің жұмысына, жетекке сай келетін қасиеттерге, кемшіліктері мен артықшылықтарына қысқаша сипаттама жасалды. Механикалық басқару элементтері бар қарапайым жүйелерден бастап гидрожетекті іске қосудың реттемелі көзі бар, сонымен қатар бақылау және басқаруы электронды болып келетін күрделі жүйелерге дейінгі шешімдер қарастырылды. Электро-мөлшерлес басқару арқылы және электрондық құраушылары арқылы белгі беру жұмысының ұстанымдары блок-сызба арқылы сипатталды.

Кілт сөздер: жазық ажарлаушы белдек, белдек гидрожетегі, үстелдің ілгері-қайтармалы қозғалысы, белдектің гидравликалық сызбасы, белдектің гидравликалық жүйесі.

Analysis of the Processes in the Hydraulic System of a Surface Grinding Machine with a Reversible Table Movement Affecting the Quality of Processing and the Efficiency of the Drive

¹*NIKONOVA Tatyana, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, nitka82@list.ru,

¹KAMZE Azat, Doctoral Student, kamze@list.ru,

¹SINKO Alexandr, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, sinko1947@mail.ru,

¹DANDYBAEV Yessim, Senior Lecturer, sealmasterkz@gmail.ru,

¹IMASHEVA Kulzhan, Senior Lecturer, imasheva-gulzhan@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. Based on the research carried out, the authors conduct a system analysis of the hydraulic system of a surface grinding machine. There was described the dependence between the hydraulic system of the working table moving and quality, effective and tolerance. During the study there were made the analysis of hydraulic circuits of the grinding machines in the different executions. There was described the different solutions of the surface grinding machines, using the reciprocating table moving. We make short description of the principles of working of hydraulic system and most significant properties, advantages and disadvantages. There were described all of work principle, starting from the simple system with mechanical elements of control till complicated system with flow control regulation with using electronic control system. It was shown signal supply diagram, also for proportional control system.

Keywords: grinding machine, hydraulic system, reciprocating table moving, hydraulic circuit, processing machine hydraulic system.

REFERENCES

1. Inozemtsev A.N., Trushin N.N. Hydraulics. Fundamentals of design and calculation of volumetric hydraulic drive. Tula, 2009.
2. Smirnov Yu.A., Volkov V.S. Malfunctions of hydraulic drives of machine tools. Rev. 2. Moscow, 2006.
3. Trevisan K., Trenti E., Anderson T., Antsini M. A method of placing working cylinders on a grinding machine and a grinding machine in which this method is implemented. Patent for invention RU 2580966 C2, 04/10/2016. Application No. 2013127594/02 dated 12/07/2011.
4. Prodan Dan, Bucuresteanu Anca, Balan Emilia. Hydraulic safety system for grinding machines with magnetic table. View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate). 2007.
5. Li Wanzhou, Wang Jingchun, Yang Feng, Zou Guobin. An Advanced Selective Hydraulic Control System for the Heavy-Duty Rough Grinding Machine. Proceedings Of The 48th Ieee Conference On Decision And Control, 2009 Held Jointly With The 2009 28th Chinese Control Conference (CDC/CCC 2009). 2009.