

М488806

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи
УДК 621.9.06-82

ФУТАЛО Евгений Григорьевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО СТАНКА
С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМОМ ПОДАЧИ

Специальность - 05.03.01 - Процессы механической и физико-хи-
мической обработки, станки и инстру-
мент

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 1989

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент ЮЗНЕЦОВ М.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор НАХАПЕТАН Е.Г.
- кандидат технических наук,
с.н.с. МЕЛИХОВ Е.В.

Ведущее предприятие - ЭНИМС

Защита состоится "26" июня 1989 года
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью

С

в МВТУ.

года.

И. ЧЕРНЯНСКИЙ

Типо
Л-16

М488806

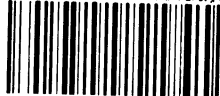
исано к печати
100 экз. 03.04.89

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

17488806
Актуальность работы. Одной из основных задач научно-технического прогресса в станкостроении, определенных решениями XXVII съезда КПСС, Постановлениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР, 19 Всесоюзной конференцией КПСС, является повышение темпов роста производительности прогрессивных средств производства. К последним относятся электроэрозионные станки (ЗЭС), позволяющие получать из материалов любой твердости и прочности детали со сложной конфигурацией, обработка которых традиционными способами является нецелесообразной. Растущие технологические требования к качеству поверхностного слоя, а также требования достижения высокой точности размеров поверхностей, обработанных электроэрозионным способом, связаны с уменьшением величины зазора между инструментом и заготовкой, что усложняет достижение стабильности работы оборудования и приводит к снижению производительности обработки. В этом случае большое влияние на технологические показатели станка оказывает механизм подачи инструмента, в задачу которого входит поддержание межэлектродного зазора (МЭЗ) в пределах рабочей зоны, а также обеспечение ускоренных перемещений инструмента при установочных движениях и в процессе релаксации.

Чем выше требуемые качественные показатели обработки, тем выше требования к точности поддержания МЭЗ, заданного режимом генератора технологического тока. С увеличением площади обработки и уменьшением МЭЗ увеличиваются силы демпфирования эрозионного промежутка, что требует больших усилий для перемещения инструмента в процессе релаксации с необходимой скоростью и минимальной потерей импульсов генератора. Все это предъявляет к механизму подачи инструмента и к станку целый ряд жестких требований, выполнение которых связано с поиском новых схем построения механизма подачи инструмента, рациональным выбором параметров упругой системы станка, направленным на снижение цикловых потерь и значительное повышение производительности обработки.

Целью работы является теоретическое обоснование и разработка электроэрозионного станка с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, обеспечивающего расширенные технологические возможности и повышение производительности.



Методика исследований. Теоретические исследования базируются на математическом аппарате теории нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику разработанного электроэрозионного станка. Использовались методы теории производительности теории автоматического регулирования, динамики станков, а также численные методы динамического анализа с применением ЭВМ. Полученные теоретические зависимости подтверждены экспериментально с достаточной полнотой и точностью. Для этого был изготовлен опытный образец механизма подачи инструмента и исследован на специальном экспериментальном стенде, а также на электроэрозионных станках с применением современной тензометрической и индукционной аппаратуры.

Научная новизна. Доказано, что повышение производительности электроэрозионных станков достигается увеличением точности поддержания межэлектродного зазора путем повышения динамических характеристик и жесткости механизма подачи инструмента. Решен вопрос теоретического обоснования зависимости статических и динамических характеристик механизма подачи инструмента от массы инструмента и площади обработки. Доказано, что повышение устойчивости и жесткости механизма достигается за счет введения в структуру механизма подачи инструмента интегро-дифференцирующего корректирующего устройства (КУ), получены аналитические зависимости, связывающие параметры КУ, механизма подачи инструмента и упругой системы станка. Установлено, что для обеспечения максимальной жесткости механизма коэффициент передачи сигнала с эрозионного промежутка на вход механизма подачи инструмента, по мере изменения режимов обработки, должен изменяться обратно пропорционально коэффициенту усиления МЭЗ.

Практическая ценность. Создан новый электроэрозионный станок с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, который обеспечивает высокую производительность и расширенные технологические возможности, разработана методика инженерного расчета КУ. Сформулированы требования к параметрам механизма подачи инструмента и упругой системе электроэрозионного станка. Составлены алгоритмы расчета на ЭВМ параметров упругой системы станка и параметров механизма подачи в зависимости от диапазона нагрузки.

Разработан механизм подачи инструмента с корректирующим

устройством, которое значительно повышает жесткость механизма и расширяет область его устойчивости в широком диапазоне режимов обработки. На данное устройство получено авторское свидетельство.

Реализация работы. Созданный электрогидравлический механизм подачи инструмента позволил разработать новый станок, который прошел технологические испытания и внедрен на заводе "Станкоконструкция" с годовым экономическим эффектом 3800 рублей на один станок.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование гидро- и пневмоагрегатов в машиностроении" (г. Грязи, 1985 г.), на научно-технических семинарах (1985, 1986 гг.) и на заседании кафедры "Металлорежущие станки" МВТУ им. Н.Э.Баумана (1987г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять статей и получено авторское свидетельство.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, описки литературы из 88 наименований и приложений, содержит 120 страниц машинописного текста, 46 рисунков, 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель работы и задачи исследования.

В первой главе сформулированы требования к механизму подачи инструмента ЭЭС, дается обзор существующих методов перемещения и конструкций электрогидравлических механизмов подачи инструмента ЭЭС, рассмотрены теоретические методы расчета, намечены пути повышения производительности и расширения технологических возможностей.

Проведенный анализ технологических особенностей работы электроэрозионных станков, выполненный с учетом компоновочных решений и перспектив развития этой группы станков как в нашей стране, так и за рубежом, позволил сформулировать требования к техническим характеристикам механизма подачи ЭЭС, обеспечение которых в наибольшей степени связано с применением линейного электрогидравлического механизма подачи, что обусловлено следующими его преимуществами:

- возможность выполнять перемещения непосредственно, без применения силовых винтовых передач;
- малая инерционность и малые габариты подвижных частей, что обеспечивает высокое быстродействие механизма;
- высокая долговечность исполнительного гидроцилиндра особенно при знакопеременном движении штока;
- значительные развиваемые усилия, необходимые для преодоления инерционности нагрузки и сил вязкого сопротивления эрозионного промежутка.

Анализ цикловой производительности электроэрозионных станков показал, что имеет место два основных вида потерь времени в цикле обработки:

- потери времени, связанные с релаксацией;
- потери времени в процессе обработки между релаксациями.

Цикловую производительность электроэрозионного станка можно представить в виде:

$$Q = Q_0 \eta_1 \eta_2, \quad (1)$$

где $Q_0 = 1/t_p$ - теоретическая производительность; t_p - время работы станка за цикл; η - коэффициент производительности; η_1, η_2 - соответственно коэффициенты использования импульсов, определяемые потерей времени связанного с релаксацией и потерей времени между релаксациями.

Коэффициент η_1 представлен в виде:

$$\eta_1 = 1 - n(\tau_{pen} + \tau_0 + \tau_n)/t_p, \quad (2)$$

где τ_{pen} - время релаксации инструмента; τ_0 - время реакции механизма подачи инструмента на нарушение стабильности процесса; τ_n - время восстановления поддерживаемого МЭЗ при подводе инструмента в рабочую зону; n - число релаксаций за цикл обработки.

Коэффициент η_2 представлен в виде:

$$\eta_2 = 1 - \sum_{i=1}^k \tau_{xi} / t_p, \quad (3)$$

где k - количество периодов колебаний инструмента между релаксациями; T_x - время холостого хода между рабочими импульсами.

Такое разделение потерь импульсов генератора в цикле обработки позволило определить основные пути их сокращения и повышения производительности.

Первый путь - это увеличение коэффициента η_1 за счет уменьшения T_0 и T_n путем повышения быстродействия механизма и второй путь - это обеспечение коэффициента η_2 максимальным во всем диапазоне режимов обработки. Коэффициент η_2 зависит не только от динамических характеристик механизма, но и от настройки его на поддержание заданного напряжения на электродах, которая определяет отсутствие короткого замыкания.

Проведенный обзор существующих механизмов подачи инструмента показал, что для расширения технологических возможностей по массе устанавливаемого инструмента, приспособлений и по площади обработки необходимо идти по пути повышения быстродействия, тяговых характеристик, жесткости, устойчивости, точности поддержания МЭЗ, скорости отвода инструмента, а также уменьшения амплитуды автоколебаний при релейной обратной связи.

В настоящее время имеется значительное число работ, посвященных исследованиям электроэрозионных станков с гидромеханизмами подачи инструмента. Вместе с тем, для разработки электроэрозионного станка с расширенными технологическими возможностями и высокой производительностью обработки необходимо учитывать влияние нелинейного характера зависимости характеристики МЭЗ на устойчивость механизма, изменение вида нелинейности характеристики обратной связи при изменении поддерживаемого напряжения на электродах, а также учитывать влияние параметров упругой системы станка на качество его работы. Кроме того, необходимо установить зависимость изменения коэффициента передачи сигнала с эрозионного промежутка на вход механизма при изменении режимов обработки, а также решить вопросы улучшения качества регулирования МЭЗ, например, за счет введения в структуру механизма дополнительных корректирующих звеньев.

Решению перечисленных теоретических и прикладных задач посвящена данная работа.

Во второй главе проведен теоретический анализ влияния пара-

метров нагрузки на работу механизма подачи станка с расширенными технологическими возможностями, что позволило сформулировать требования к электрогидравлической схеме механизма подачи.

Для разработки параметров гидромеханической части механизма подачи инструмента была составлена расчетная схема нагружения исполнительного гидроцилиндра. На электрод-инструмент с суммарной приведенной массой m и площадью обработки S_u со стороны эрозионного промежутка действует вытесняющая сила P_0 от подаваемого в МЭЗ диэлектрика, а также сила демпфирования $P = \beta \dot{z}$, пропорциональная коэффициенту демпфирования β и скорости $\dot{z}$ относительного движения инструмента и заготовки. На основе оставленных с учетом действующих нагрузок уравнений движения штока гидроцилиндра и уравнений расходов масла по трубопроводам, соединяющим гидроцилиндр и электрогидравлический распределитель, получены постоянная времени $T_{гд}$ и коэффициент демпфирования $\gamma_{гд}$ гидродвигателя, необходимые для выбора его основных параметров.

Дальнейший этап в разработке механизма подачи инструмента ЭЭС состоял в выборе структурной схемы электрогидравлического распределителя, а также схемы управления механизмом, включающей элемент сравнения, схему усилительного устройства и схему обратной связи.

Для линейной модели механизма подачи инструмента получена следующая передаточная функция разомкнутой системы:

$$W_p(s) = \frac{K}{s(T_{гг}s + 1)(T_{гд}^2s^2 + 2\gamma_{гд}T_{гд}s + 1)}, \quad (4)$$

где $K = K_{гд}K_{гг}K_{п}K_{зэз}$ - общий коэффициент усиления механизма; $K_{зэз}$ - коэффициент усиления МЭЗ; $K_{п}$ - коэффициент передачи сигнала с эрозионного промежутка на вход механизма; $T_{гг}$; $K_{гг}$ - постоянная времени и коэффициент усиления электрогидравлического распределителя; $K_{гд}$ - коэффициент усиления гидродвигателя.

Чтобы обеспечить весь диапазон режимов станка с коэффициентом использования импульсов $\eta_a = 1$, необходимо обеспечить устойчивость механизма подачи инструмента во всем диапазоне изменения $K_{зэз}$. Потеря устойчивости приводит к возникновению автоколебаний механизма вследствие нелинейной зависимости обратной

связи. По разработанной модели на основании критерия устойчивости по Гурвицу получена зависимость допустимого значения $[K_{323}]$ от параметров механизма:

$$[K_{323}] < \frac{2 \xi_{гд} (T_{гд}^2 + T_{гп}^2 + 2 \xi_{гд} T_{гд} T_{гп})}{K_{п} K_{гд} K_{гп} T_{гд} (T_{гд} + 2 \xi_{гд} T_{гп})^2} \quad (5)$$

По выражению (5) было определено значение $T_{гп}$, при котором обеспечиваются максимальное значение K_{323} и высокие динамические характеристики механизма при заданном значении диапазона нагрузки и параметрах гидродвигателя. Значение $T_{гп}$ составило $1,7 \cdot 10^{-3}$ с при $m = 100$ кг и $\beta_5 = 1 \cdot 10^5$ Нс/м.

На основе проведенного теоретического анализа влияния отдельных элементов на обеспечение высокого значения K_{323} и требований, предъявляемых к механизму подачи инструмента ЭЭС с расширенными технологическими возможностями, разработана электрогидравлическая схема механизма, обладающая полной гидравлической симметрией и минимальным количеством элементов.

В третьей главе разработана нелинейная модель эрозионного станка в электрогидравлическом механизме подачи инструмента, исследованы виды нелинейностей в структуре механизма при изменении поддерживаемого напряжения на электродах и влияние параметров упругой системы станка на качество его работы, предложена методика синтеза корректирующего устройства.

Эрозионный промежуток является тем звеном, которое определяет силовое воздействие на упругую систему станка, причем, чем больше площадь обработки и меньше МЭЗ, тем интенсивнее силовое воздействие на инструмент и на шток гидроцилиндра. Перепад давлений в полостях гидроцилиндра, необходимый для преодоления сил инерции и силы вязкого сопротивления эрозионного промежутка, воздействует также на корпус гидроцилиндра в направлении, противоположном движению штока. Упругая податливость корпуса гидроцилиндра относительно стола станка ухудшает качество регулирования МЭЗ. Расчетная схема станка, учитывающая вышеизложенное, показана на рис. 1. Упругая система станка представлена в виде сосредоточенной массы M_y на упругой балке с жесткостью C_y и коэффициентом упругого сопротивления β_y . Электрогидравлический механизм подачи инструмента со-

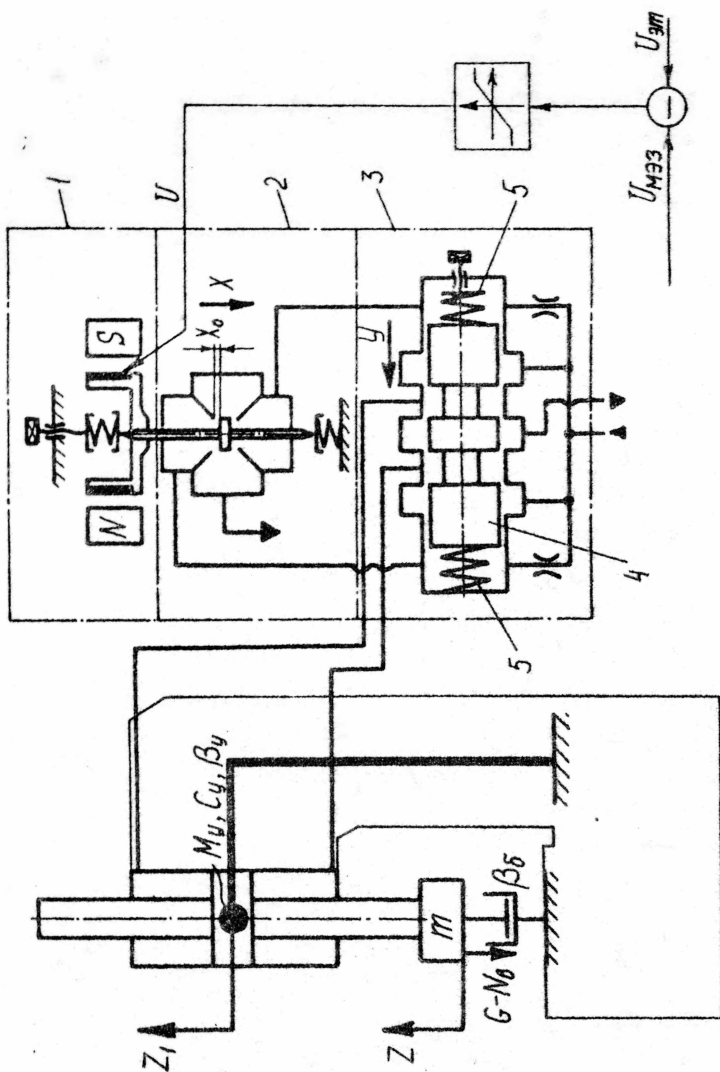


Рис. 1. Расчетная схема эрозийного станка

стоит из электромеханического преобразователя 1, гидроусилителя 2 и гидрораспределителя 3 с золотником 4, поджатым пружинами 5.

Математическая модель электрогидроизмерного станка с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, преобразованная в форму Коши, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Y}_1 = A_1 Y_5 + R - A_3 \\ \dot{Y}_2 = -A_4 Y_2 - A_5 Y_7 - A_6 Y_5 \\ \dot{Y}_3 = -A_7 Y_3 - A_8 Y_8 + A_9 Y_{10} \\ \dot{Y}_4 = -A_{10} Y_4 - A_{11} Y_9 + A_{12} U - A_{13} Y_{10} \\ \dot{Y}_5 = A_{14} Y_8 - A_{15} (Y_5 + PB + PU) - A_{16} (Y_1 - Y_2) \\ \dot{Y}_{10} = A_{17} Y_9 - A_{18} Y_{10} - A_{19} Y_3 \\ PB = B_1 (Y_1 - Y_2) \\ PU = B_2 (\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2) \\ R = -[A_2 / (W + Y_6)^3] Y_1 \\ \dot{Y}_6 = Y_1 \\ \dot{Y}_7 = Y_2 \\ \dot{Y}_8 = Y_3 \\ \dot{Y}_9 = Y_4 \\ U = f(Y_6) \end{array} \right. \quad (6)$$

где $Y_1 = \dot{Z}$, $Y_2 = \dot{Z}_1$, $Y_3 = \dot{U}$, $Y_4 = \dot{X}$ - соответственно скорость движения инструмента, точки приведенной массы упругой системы станка, золотника, заслонки; $Y_6 = Z$, $Y_7 = Z_1$, $Y_8 = U$, $Y_9 = X$ - соответствующие перемещения элементов системы; $Y_5 = p$, $Y_{10} = p_0$ - перепад давлений в полостях гидроцилиндра и в камерах по торцам золотника; $PB = p_T$ - потери давления в трубопроводах, соединяющих гидрораспределитель с гидроцилиндром; $PU = p_x$ - потери давления, связанные с инерцией жидкости в трубопроводах; $W = \delta$

- межэлектродный зазор; $U = f(V_0)$ - нелинейность характеристики обратной связи. Постоянные параметры имеют следующие выражения:

$$\begin{aligned} A_1 &= F/m; A_2 = a'/m; A_3 = g; A_4 = \beta_y/M_y; A_5 = c_y/M_y; \\ A_6 &= F/M_y; A_7 = \beta_z/M_y; A_8 = c_z/m_z; A_9 = F_z/m_z; A_{10} = \beta_c/m_c; \\ A_{11} &= c_c/m_c; A_{12} = K_1/m_c; A_{13} = F_c/m_c; A_{14} = 2EK_{qy}/V; A_{15} = \\ &= 2EK_{qp}/V; A_{16} = 2EF/V; A_{18} = 2EK_{qp}/V_0; A_{17} = 2EK_{qx}/V_0; \\ A_{19} &= 2EF_3/V_0; a' = 3\gamma\rho\pi S_4^2/2; B_1 = \lambda/F; B_2 = m_u/F. \end{aligned}$$

где F , V - площадь и объем полости гидроцилиндра; c_z , F_z , m_z , β_z - эквивалентная жесткость пружин, площадь, масса и коэффициент демпфирования золотника; c_c , m_c , β_c - эквивалентная жесткость пружин, масса и коэффициент демпфирования подвижной части гидроусилителя; F_c - площадь сопла гидроусилителя; E - модуль упругости масла; K_{qy} , K_{qx} , K_{qp} , K_{qp} - коэффициенты усиления и коэффициенты скольжения по расходу золотника и гидроусилителя; V_0 - сжимаемый объем масла в цепи управления золотником; g - ускорение свободного падения; λ - коэффициент вязкого трения в трубопроводах; m_u - приведенная к оси штока гидроцилиндра масса рабочей жидкости в трубопроводах; K_1 - коэффициент усиления электромеханического преобразователя по силе тяги; γ , ρ - коэффициент кинематической вязкости и плотность диэлектрика.

Решение системы уравнений (6) осуществлялось на ЭВМ при помощи метода Рунге-Кутты. Были определены параметры электрогидравлического распределителя, которые обеспечили максимальную скорость движения штока $\dot{z} = 4 \cdot 10^{-2}$ м/с при действии нагрузки массой 100 кг, а частота при которой фазовая частотная характеристика механизма пересекает линию -90° , составила $\omega = 588$ с $^{-1}$. Проведенный анализ влияния параметров упругой системы станка на качество его работы показал, что с увеличением нагрузки и площади обработки увеличивается перемещение точки приведения упругой системы станка и при $m = 100$ кг и $\beta\delta = 2 \cdot 10^5$ Нс/м составляет $0,02 \cdot 10^{-3}$ м.

Доказано, что для использования наклонного участка нели-

нейной зависимости $U_{cp} = f(\delta)$ в качестве сигнала обратной связи в схему усилителя необходимо ввести ограничение выходного сигнала по максимальному напряжению управления U_0 . С изменением эталонного сигнала $U_{зм}$ изменяется вид нелинейности в структурной схеме механизма. На рис. 2 показаны виды нелинейностей при настройке механизма на поддержание напряжения на электродах в пределах рабочей зоны $\delta_p = \delta_{max} - \delta_{min}$. В зависимости от соотношения коэффициента передачи сигнала с эрозионного промежутка на вход механизма K_n и $2U_0/\delta_p U_p$ имеет место различный вид нелинейности 1 и 2. При настройке $U_{зм}$ на поддержание напряжения на электродах равного U_{pmax} нелинейности имеют вид 3 и 4. Симметричный вид нелинейности 5 имеет место при условии

$$U_{xx} - U_0 \geq U_{cp} \geq U_{pmax} + U_0 \quad (7)$$

где U_{xx} — напряжение холостого хода генератора; U_{cp} — среднее напряжение на электродах.

Определена область устойчивости механизма с коэффициентом $\eta_2 = 1$ и область автоколебаний с $\eta_2 < 1$ для всего диапазона изменения режимов обработки. На основании частотного метода В.М.Попова установлено, что абсолютная устойчивость механизма для нелинейностей вида 1 и 2 обеспечивается, когда нелинейность не выходит за пределы угла $\arctg K_0$. Коэффициент K_0 определяется из условия устойчивости линейной части замкнутой системы. В пределах угла $\arctg K_0$ коэффициент K_n определяется равенством $K_n = K_0/K_{заз}$. Установлено, что максимальная (из условия устойчивости) жесткость механизма при изменении $K_{заз}$ достигается соответствующим изменением K_n так, чтобы общий коэффициент усиления механизма был неизменным.

Расчет показал, что при $K_{заз} > 1,7 \cdot 10^5$ В/м необходимо увеличивать поддерживаемое напряжение на электродах, так как устойчивая работа механизма не обеспечивается и коэффициент η_2 становится меньше единицы.

Для расширения области устойчивости механизма подачи инструмента и уменьшения амплитуды автоколебаний при релейной обратной связи, а также с целью увеличения жесткости механизма предложена методика синтеза корректирующего устройства с передаточной функцией:

$$W_K(S) = \frac{T_2 S + 1}{T_1 S + 1} \cdot \frac{T_3 S + 1}{T_4 S + 1}, \quad (8)$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 - постоянные времени, определяемые исходя из устойчивости линейной системы механизма. Соотношение параметров T_1/T_2 определяет степень увеличения произведения $K_H K_{305}$, т.е. увеличение жесткости механизма и увеличение диапазона режимов обработки с $\eta_2 = 1$ (рис. 3).

Разработанная и защищенная авторским свидетельством схема управления быстродействующим электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, содержащая КУ, позволяет повысить жесткость механизма в 9,8 раза за счет увеличения общего коэффициента усиления и уменьшить в 8,4 раза амплитуду автоколебаний на чистовых режимах обработки при наличии релейной обратной связи. Область устойчивости с $\eta_2 = 1$ увеличивается до $K_{305} = 2,1 \cdot 10^6$ В/м.

В четвертой главе описаны методы, средства и результаты экспериментальных исследований разработанного электроэрозионного станка с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, позволившие определить основные технические характеристики станка и проверить правильность предложенной математической модели.

Специально созданный стенд позволил провести исследование статических и динамических характеристик разработанного и изготовленного электрогидравлического механизма подачи инструмента. Определялась собственная частота механизма при замыкании его релейной обратной связью. Данные эксперименты соответствовали условию работы механизма на особоточных режимах электроэрозионной обработки и позволили определить амплитуду автоколебаний замкнутого механизма и сравнить с расчетной.

Для исследования использовались тензометрические датчики положения и серийная измерительно-регистрирующая аппаратура.

В результате экспериментальных исследований получены следующие статические характеристики: расходная для золотников гидрораспределителя с $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 10^\circ$, силовые для гидродвигателя и первой ступени гидрораспределителя, определена статическая жесткость замкнутого механизма. Перепад давлений по торцам золотника при максимальном сигнале управления составил

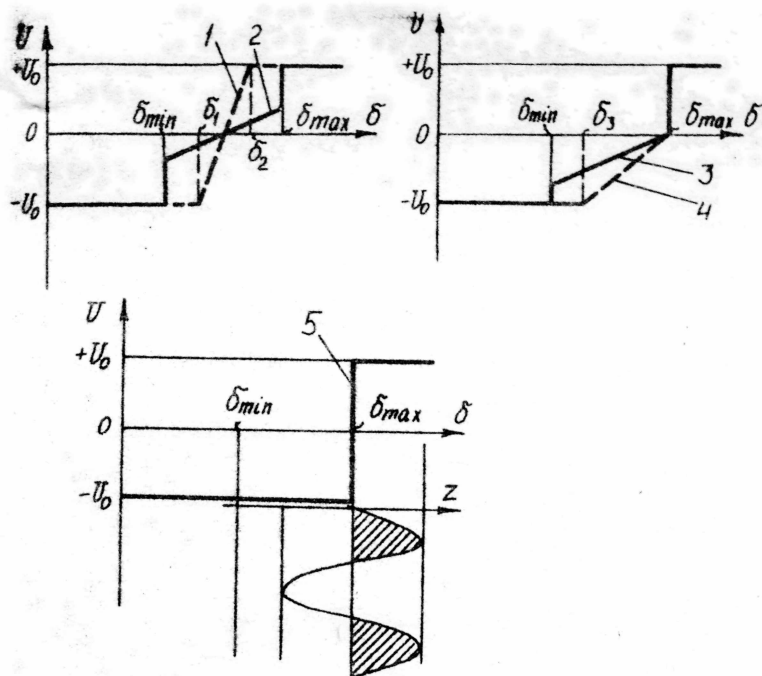


Рис. 2. Основные виды нелинейностей механизма

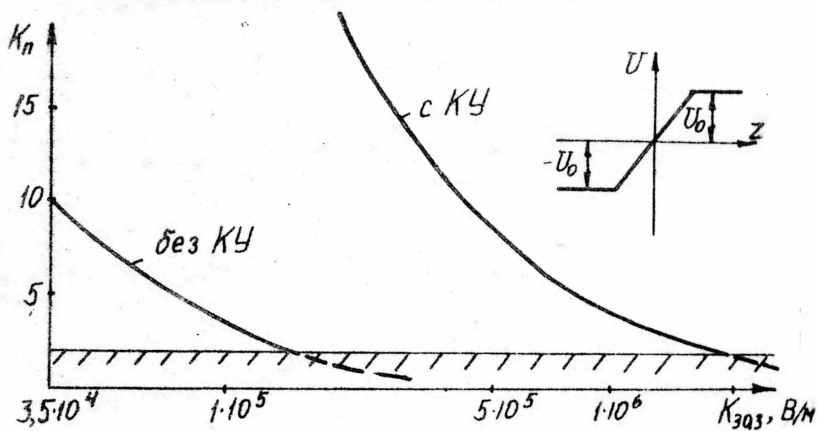


Рис. 3. Область устойчивости эрозионного станка

0,4 МПа, что соответствует теоретическим расчетам. Статическая жесткость механизма составила $6,03 \cdot 10^8$ Н/м, а с включением КУ жесткость увеличилась до $5,98 \cdot 10^9$ Н/м. При ограничении сигнала управления величиной 10 В амплитуда автоколебаний с включением КУ уменьшилась в 8,38 раза и составила $4,2 \cdot 10^{-6}$ м, а частота собственных колебаний увеличилась на 27,5 Гц и составила 112 Гц.

Отклонение результатов экспериментов от расчетных не превышает 5 - 15%, что свидетельствует о пригодности математической модели для практических целей.

На основе приведенных в работе требований была разработана схема управления механизмом подачи инструмента, обеспечивающая связь между напряжением на электродах и входом механизма, а также связь с адаптивной системой регулирования станка.

Для проведения экспериментальных исследований электроэрозионного станка были созданы установки, на которых выполнялись технологические испытания при обработке различных пар материалов электрода-инструмента и заготовки, определялись коэффициент использования импульсов и производительность обработки при изменении режимов во всем диапазоне режимов генератора технологического тока, перемещения упругой системы станка при варьировании параметров нагрузки по массе инструмента и площади обработки, зависимости изменения среднего напряжения на электродах и напряжения на выходе адаптивного регулятора от величины МЭЗ.

Результаты экспериментальных исследований нового ЭЭС с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента позволяют сделать следующие выводы:

- разработанный электроэрозионный станок с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента полностью соответствует требованиям, предъявляемым к станкам данного типа и обеспечивает повышение производительности обработки на 30 - 50% во всем диапазоне режимов генератора;

- результаты теоретических расчетов с достаточной полнотой и степенью точности совпадают с данными экспериментальных исследований.

ВЫВОДЫ

1. Повышение производительности электроэрозионных станков достигается увеличением точности поддержания МЭЗ путем повышения динамических характеристик и жесткости механизма подачи электрода-инструмента.

2. На основании теоретического анализа цикловых потерь установлено, что производительность ЭЭС прямо пропорциональна коэффициенту использования импульсов генератора. Доказано, что диапазон режимов обработки, при котором обеспечивается максимальный коэффициент использования импульсов, пропорциональный общему коэффициенту усиления механизма подачи инструмента.

3. Теоретически исследовано влияние ряда нелинейностей (характеристики МЭЗ, расходной характеристики золотника) на качество работы электрогидравлического механизма подачи инструмента, что позволило существенно улучшить его выходные характеристики и, следовательно, повысить производительность ЭЭС.

4. Доказано, что для достижения максимального коэффициента использования импульсов особенно в области чистовых технологических режимов необходимо ограничить нелинейность характеристики МЭЗ максимальным и минимальным значениями рабочего напряжения на электродах, т.е. в структуре механизма подачи обеспечить нелинейность в виде звена с насыщением.

5. Разработан теоретический метод расчета КУ, которое существенно расширяет устойчивость механизма в области чистовых технологических режимов, а на режимах, при которых имеет место автоколебания механизма, уменьшает амплитуду. Эффективность КУ повышается с увеличением динамических характеристик механизма. Разработанная и защищенная авторским свидетельством схема управления быстродействующим электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, содержащая КУ, обеспечила повышение жесткости механизма более чем в 9 раз, что позволило расширить область устойчивости с $K_{225} = 1,7 \cdot 10^5$ В/м до $K_{223} = 2,1 \cdot 10^6$ В/м и уменьшить амплитуду автоколебаний с 7 мкм до 0,8 мкм при максимальном напряжении управления $U_0 = 2$ В.

6. Для ЭЭС характерно силовое воздействие со стороны эрозионного промежуточного на исполнительный механизм подачи инструмента, при этом упругое смещение приведенной к оси гидроцилиндра массы несущей системы станка оказывает тем большее влияние.

на точность обработки, чем больше угловые смещения оси штока.

7. Доказано, что показателем качества механизма подачи 336 является допустимое из условия устойчивости максимальное значение коэффициента усиления зазора, при котором обеспечивается устойчивость механизма и отсутствуют потери импульсов генератора.

8. По результатам исследований был изготовлен электроэрозионный станок с электрогидравлическим механизмом подачи инструмента, обеспечивающий расширенные технологические возможности. Новый станок прошел технологические испытания во всем диапазоне режимов и обеспечил повышение производительности обработки на 30 - 50%.

9. Полученные теоретические зависимости были проверены экспериментально. Сходимость результатов в пределах 5 - 15% говорит о правомерности теоретических выводов и возможности использования их на практике.

10. Результаты исследований могут быть использованы при расчете и конструировании механизмов подачи инструмента другого типа, например, электромеханических.

11. Годовой экономический эффект от внедрения нового станка с электрогидравлическим механизмом подачи на машиностроительном заводе составил 3800 руб. на один станок.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Кузнецов М.М., Футало Е.Г. Влияние структуры механизма подачи на производительность эрозионного станка // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1987. - № 7. - С. 128-132.

2. Кузнецов М.М., Футало Е.Г. Разработка привода подачи инструмента эрозионного станка // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1986. - № 7. - С. 148-152.

3. Футало Е.Г. Разработка и исследование механизма непрерывного регулирования перемещения инструмента повышенной массы эрозионного станка // Известия ВУЗов. Машиностроение, - 1988. - № 7. - С. 132-137.

4. Футало Е.Г. Эксплуатация гидропривода подачи фрезерного станка // Всесоюзная научно-техническая конференция по совершенствованию гидро- и пневмоатрегатов в машиностроении. Тез. докл. Всес. науч. - техн. конференция. - г.Грязи - 1985. - С. 58-60.